

INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES DE ESPAÑA

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

Celebrado en Madrid durante los días
28 de mayo a 3 de junio de 1950

TOMO II

1 9 5 1

451154-II

27550

FUNDACION JUANELO TURRIANO
BIBLIOTECA

INSTITUTO DE INGENIEROS CIVILES DE ESPAÑA

II Congreso Nacional de Ingeniería

TOMO II

COMBUSTIBLES

*J. Garinda
Alayón*

14 Enero 1952

MADRID

I 9 5 I

GRUPO I
COMBUSTIBLES

ACTAS DE LAS SESIONES Y TRABAJOS

SECCIÓN 1.^a

RECIBO

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

(28 de mayo a 3 de junio de 1950)

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 29 DE MAYO DE 1950

Se constituye la Mesa con, el Presidente, D. Antonio Lucio Villegas, Ingeniero de Minas; los Vicepresidentes, D. Luis Benito Villanueva, Ingeniero Industrial, y D. Manuel Fernández Balbuena, Ingeniero de Minas, actuando de Secretario D. José Aguado Smolinski, Ingeniero de Montes.

Se abre la sesión a las diez horas y doce minutos, y después de un saludo a los reunidos, el Sr. Presidente ruega al Secretario lea, en representación del Ingeniero de Minas, de Francia, M. Ernest Riffaud, el siguiente trabajo:

N.º 39. - La genèse des dégagements instantanés
dans les houillères

Autor: M. ERNEST RIFFAUD,

Ingenieur au Corps des Mines, Secrétaire de la Commission des dégagements instantanés

La lecture des nombreuses études relatives aux dégagements instantanés, publiées ou incluses dans les dossiers de la Commission des dégagements instantanés, est loin de donner une impression de concordance de vues, malgré la qualité de ces travaux.

Une même remarque avait été faite sur un sujet tout différent par Fayol lorsqu'il entreprit l'étude des mouvements de terrains provoqués par les travaux des mines, et il trouva le fil directeur qui devait permettre de relier en partie toutes les théories.

Nous citerons de lui sur ce sujet, la phrase suivante (1):

"Ces contradictions sont cependant plus apparentes que réelles, elles tiennent à ce que l'on a généralisé des faits qui ne sont que des cas particuliers de la règle."

On peut donc se demander s'il n'en est pas ainsi pour les dégagements instantanés et s'il ne manque pas aussi, tout simplement, une synthèse qui ferait entrer le principal des études dans un même cadre, les parties qui semblaient opposées n'étant que les différentes faces de la question.

Sans prétendre à un résultat aussi considérable, il nous a paru que, de l'ensemble des connaissances acquises, il se dégagait tout naturellement des notions dépassant de beaucoup

NOTA.—La Junta de Gobierno del II Congreso Nacional de Ingeniería, acordó en su día y para mayor facilidad en el examen de los trabajos presentados, modificar la primera distribución de Grupos y Secciones, adoptando la que se dió a conocer oportunamente a los Sres. Congressistas y seguiremos en estas publicaciones.

une simple codification et d'où il pourrait même être tiré une doctrine toute nouvelle, riche de possibilités.

C'est là, le seul but de cette note, qui comportera d'abord un retour à l'origine des faits, afin d'en tirer une définition aussi claire que possible des phénomènes, car il nous a aussi semblé qu'un certain nombre de divergences de vues tenaient

à des définitions différentes, comme à des confusions entre la cause déclenchant le dégagement instantané et le D. I. lui-même.

L'étude comportera un grand nombre de citations de spécialistes qui serviront à étayer un essai d'explication de la genèse intime du phénomène, suivi d'indications sur certains faits venant, semble-t-il, à l'appui de la thèse proposée.

I.—QU'EST-CE QU'UN DÉGAGEMENT INSTANTANÉ?

Un dégagement instantané bien caractérisé donne lieu à des effets considérables, immédiatement constatables:

a) des projections solides empruntant des matériaux, surtout à la couche ayant donné lieu au phénomène (charbon ou schiste charbonneux), en partie aux épontes, enfin à tout objet pouvant se trouver sur la trajectoire (berlines, portes même solides, boisage, etc...). Ces projections s'échelonnent de la «folle farine» aux très gros blocs en passant par tous les intermédiaires et en subissant une certaine classification en hauteur, les gros blocs étant dessous et la folle farine dessus; dans les galeries il subsiste, en outre, un passage libre, en couronne, au-dessus de la folle farine (cheminée d'écoulement du gaz après immobilisation de la phase solide). Ces projections peuvent comprendre des centaines et parfois des milliers de tonnes et peuvent remblayer des longueurs considérables de galeries et même de montages;

b) une émission gazeuse (nous n'examinerons que les cas de l'anhydride carbonique, du grisou, ou des deux mélangés: Dégagements instantanés mixtes ou à grisou lourd) à l'échelle des projections solides, pouvant remplir en un très court instant des longueurs considérables de galeries et même toute la mine et refluer par le puits d'entrée d'air.

Les premiers ingénieurs qui constatèrent les méfaits de ce phénomène dans leurs travaux, lui donnèrent le nom de «dégagement instantané». Visiblement, cette désignation s'applique à la partie gazeuse du phénomène qui a été ainsi nommée par opposition au dégagement permanent constaté dans toute mine à grisou ou à gaz carbonique.

Or, la partie gazeuse n'est pas plus impressionnante que la partie solide et ses effets sont moins durables.

Pourquoi donc cette locution fut-elle choisie? Tout ingénieur qui constate un effet, oriente aussitôt son esprit vers la recherche de la cause. Nul doute donc que primitivement la cause des dégagements instantanés, par comparaison avec le travail d'une charge d'explosifs, fut attribuée à la phase gazeuse; celle-ci seule eut dès lors de l'importance et servit à désigner tout le phénomène.

Il est donc possible, sur la simple constatation de l'effet, de dire que le gaz est la partie motrice et le solide un projectile.

En effet, quelle que soit la force qui détache le charbon de sa position dans la couche et qui permet ainsi le mouvement, il ne peut guère être nié que le fait d'une projection à grande distance, dans des galeries relativement étroites, sinueuses et à parois peu lisses, ne peut être l'effet que d'une projection à vitesse initiale assez considérable, mais surtout avec subsistance d'une accélération horizontale positive sur la plus grande partie du parcours, ce qui ne peut s'expliquer que par une détente gazeuse.

Toute autre poussée provenant du lieu d'éjection devrait vaincre, sur les parois, des résistances rapidement insurmontables par l'accumulation des matériaux, toute la section de la galerie serait remblayée, quitte à laisser subsister une certaine pression gazeuse derrière le barrage ainsi formé.

Si les projections étaient faites sous vitesse initiale très grande et sans accélération ultérieure, il se produirait, au moins près du lieu du dégagement instantané et dans les coudes des galeries, des destructions bien plus considérables que celles qui sont constatées (une partie du boisage subsiste parfois).

La différence à ce dernier point de vue est très nette, on l'observe notamment entre les effets d'un coup de grisou (explosion), même de modeste importance et ceux d'un dégagement instantané. Dans le premier cas, le matériel de mine est haché et déchi-

queté, dans le second, il est non moins bien détruit, mais par aplatissement. L'explosion récente de 6 tonnes d'explosifs dans une galerie de mine à Saint-Jean de Valériscle (Grand'Combe), confirme encore cette différence, on a également observé à cette occasion la mise en pièces du matériel frappé par des projections à vitesse initiale considérable, bien que les projections n'aient pas été envoyées aussi loin que lors qu'un grand dégagement instantané.

Enfin, il est visible que la classification en grosseur, se terminant même en couronne par un vide, ne peut provenir que de la suppression quasi simultanée, sur toute la longueur des projections, de l'accélération provenant de la pression des gaz mélangés, les matériaux les plus lourds et aussi les plus gros tombent alors les premiers, la poussière étant tenue en suspension plus longtemps, le tassement qui en résulte laisse un vide au sommet qui est entretenu par l'échappement du gaz subsistant à faible pression.

* * *

On a voulu parfois attribuer au gaz un simple rôle de lubrifiant, lorsqu'il s'agit de l'éjection mécanique du charbon fortement comprimé dans la couche, on peut avancer une telle affirmation, puisque le gaz peut être à l'état liquide. Mais à partir de la projection hors de la couche, seul cas qui nous occupe actuellement, l'assimilation du gaz à un lubrifiant nous paraît impossible sans que nous ayons à nous appesantir sur ce sujet.

* * *

On a déjà comparé par certains côtés le dégagement instantané à un tir de coup de mine, notamment M. l'Inspecteur Général Daval (2), on parle d'ailleurs de «couches explosives», cette comparaison paraît justifiée et sera utilisée, mais des réserves sont cependant faites qui tiennent à une différence essentielle: l'explosif nous l'avons vu, donne une impulsion initiale beaucoup plus grande par suite de la beaucoup plus grande concentration des gaz (effets plus violents sur le corps voisins), mais les blocs une fois lancés ne subissent que pendant très peu de temps d'autre accélération, que celle de la pesanteur, car la pression gazeuse tombe immédiatement, d'une part par suite de la faible quantité de gaz eu égard de la section du

vide des travaux, d'autre part, par leur rapide diminution de volume consécutive à leur refroidissement.

Toutes choses que l'on ne rencontre pas dans un dégagement instantané.

* * *

Ces remarques, qu'il nous a paru intéressant d'exposer préjudiciellement, bien qu'elles doivent être appuyées par les développements à venir, vont servir à poser une définition des dégagements instantanés.

Nous n'avons, en effet, trouvé nulle part de définition précise.

Au contraire, la généralisation des certaines constatations a permis d'introduire une échelle très étendue de cas sous le vocable de dégagement instantané.

On a ainsi appelé toute projection de charbon accompagnée de gaz quel que soit le rôle de ce dernier et même en l'absence de gaz!

Par exemple, on a pu admettre le passage progressif entre les dégagements instantanés et les coups de toit, sans voir que si les deux peuvent mélanger leurs effets, c'est parce que le second peut très bien provoquer le premier.

Ceci provient de ce qu'à mesure de l'avancement des études on a progressivement remplacé, dans l'ordre d'importance, les éléments essentiels et sûrs qui prévalaient au début, par des causes plus ou moins directes et surtout plus ou moins nécessaires, que chacun s'est évertué à découvrir.

Du point de vue de la lutte contre les dangers de ces phénomènes, il n'y a pas grand mal à cela, puisqu'on se contente de mesures empiriques (les seules encore possibles), lesquelles sont probablement fortement excessives, mais dans un sens inconnu et peuvent s'appliquer à toute une série de phénomènes dont les uns peuvent être la cause des autres.

Au contraire, si l'on désire arriver à la connaissance scientifique de ceux-ci, il est indispensable de se limiter à une classe bien déterminée.

Nous aurons donc pour but de séparer les phénomènes comprenant une violente projection solide, visiblement provoquée par les gaz qui l'accompagnent, nous ne ferons cependant aucune hypothèse sur ce qui se passe dans le moment qui précède celui où le charbon pulvérisé se trouve près de son lieu de gisement et mélangé aux gaz sous pression, car ce serait prendre

position d'avance. Nous éliminerons ainsi déjà les projections de charbon par élasticité mécanique ou par gravité (éboulements), lesquelles peuvent d'ailleurs être accompagnées d'une émission gazeuse de même ordre, mais sans effet actif.

En définitive, nous appellerons «Dégagement instantané», un phénomène qui se traduit par une projection violente de charbon (ou de schiste charbonneux) sous l'effet de la détente des gaz contenus.

On peut ajouter que plusieurs auteurs se sont déjà élevés contre une trop large acception donnée à la définition, notamment M. l'Inspecteur Général Leprince-Ringuet (Observation sur les documents de la Commission des D. I. — 12 mars 1931) et M. l'Inspecteur Général Edmond Friedel (Les D. I. de grisou dans le Nord et le Pas-de-Calais R. I. M., communication du 3 mars 1936).

Puis, M. Jaroslav Iicnisky (3) qui voudrait séparer trois classes de phénomènes: les projections solide-gaz (où le gaz a un rôle actif), les projections solide-seul et gazeuse seule.

II.—LES GAZ DANS LES DÉGAGEMENTS INSTANTANÉS

Les rapports entre les gaz contenus dans la houille, les gaz dégagés normalement pendant l'exploitation et les gaz émis au cours d'un D. I., on fait l'objet de nombreuses études.

De la concordance d'un grand nombre de faits, on peut déduire certaines relations:

a) Le charbon, quelle que soit sa nature, absorbe sensiblement la même quantité de gaz, qu'il s'agisse de couche à D. I. ou non, que le charbon soit en gros morceaux ou broyé.

Citons, notamment: M. l'Inspecteur Général Audibert, à la Commission des D. I., séance du 28 janvier 1931:

«La quantité de CO^2 absorbée est la même pour les différentes houilles (Gard, Nord, Faymoreau).»

Puis, Otto Ruff (4), dans ses essais sur les charbons de Basse-Silésie:

«L'expérience montre que les charbons à D. I. de Basse-Silésie n'emmagasinent pas plus de CO^2 que d'autres.»

Leur capacité est sensiblement la même à l'état dur

ou tendre, en morceaux ou pulvérisés, ou à l'état de fines.»

«Des essais de saturation des charbons de différentes textures donnent au dégagement, une quantité de gaz comparable, après avoir été soumis à une pression de 30 atmosphères.»

b) Les quantités de gaz libérées par un D. I. sont du même ordre de grandeur que celles qui proviennent du dégagement normal pendant l'exploitation.

Citons: M. l'Inspecteur Général Jarlier (5), qui signale que le dégagement normal par tonne extraite à Fontanes est de même ordre, sinon plus grand que la quantité libérée par les D. I.

Puis, Otto Ruff (4): «Le volume dégagé normalement ou par D. I. est sensiblement le même: 4,5 à 9,6 m^3 par tonne, seule la vitesse d'émission est différente.»

M. l'Inspecteur Général Jarlier (6): «Les plus violents D. I. ne donnent pas plus de gaz qu'on en peut tirer des charbons par broyage.»

c) Par ailleurs, les quantités absorbées sous quelques atmosphères, sont suffisantes pour expliquer la quantité émise au cours des D. I. Nous faisons ici des citations à ce sujet, mais nous y reviendrons.

D'abord: Otto Ruff (4): «Les volumes emmagasinés sous 2 atmosphères sont assez grands pour expliquer les quantités émises au cours des D. I.»

Le même auteur (7): signale qu'en Basse-Silésie, lors de la catastrophe de Wenceslaus, du 9 juillet 1930, le gaz émis a été évalué à 4 ou 6 m^3 par tonne, ce qui correspondrait, d'après lui, à des pressions de 1,6 à 2,7 atmosphères.

d) De nombreux auteurs donnent des renseignements numériques très divers sur les quantités de gaz émises au cours des dégagements ou absorbées en fonction de la pression et de la durée de l'opération.

D'après M. l'Inspecteur Général Leprince-Ringuet (8): «La moyenne pour les D. I. est de 32 m^3 de CO^2 par tonne projetée.»

M. l'Inspecteur Général Daval (2): «L'ordre de grandeur des volumes de gaz émis (pendant un D. I. dans le Gard) est de 40 m^3 par tonne.»

A titre documentaire, d'après Georges Rice (9), le dégagement de la Mine Michel est de 90 à 110 m^3 par tonne extraite.

M. Bykoff (10) à propos des travaux du puits Novo-

Smolianof note que le charbon contient de 4 à 7 m³ par tonne.

D'après Jaroslav Icnisky (3): «Un charbon qui n'accuse aucune pression gazeuse peut contenir des volumes considérables de gaz. Un échantillon de 1 kg. de charbon extrait d'une coupure de 1,20 m. de profondeur dans une voie de fond en couche 13 à Vasas a dégagé au jour, trois quarts d'heure après avoir été recueilli, une quantité représentant: 1,308 m³ à la tonne, en 3 heures.»

Dans la mine Carbonado (Morrissey) (9) le D. I. de 1904 qui a projeté 3.500 tonnes a donné de 55 à 140 mille m³ de gaz pendant les 30 premières minutes, soit 15 à 40 m³ par tonne. Ces mines sont citées comme les plus gazeuses du monde.

De Otto Ruff (4): «Le charbon de la couche Wilhelm 3 de Wenceslaus, finement pulvérisé et convenablement traité, emmagasine 4 m³ de CO² par tonne en quelques jours à la pression de 760 m/m. Dans les mêmes conditions il absorbe 0,560 m³ d'air.»

D'après Georges S. Rice (11) qui cite les essais de J.-I. Graham (Transactions Ins. Min. Eng. 1915), l'absorption de CH⁴ est la suivante à la pression atmosphérique:

Cannel Coal	1,340 m ³ par tonne
Charbon vapeur	2,500 —

En ce qui concerne le CO²:

Charbon vapeur	8 —
-----------------------	-----

D'essais très complets, M. l'Inspecteur Général Le-prince-Ringuet (12 et 13) précise «qu'il faut plusieurs jours pour obtenir l'équilibre avec le CO²» et donne l'ordre de grandeur de l'absorption par le charbon en m³ par tonne.

	1 atm	10	20	40	60	80
Grisou ..	2 à 3	6	7	10	»	9
CO ² ..	5 à 7	20	23	30 (gaz) 45 (liq.) à 0°	36 (liq.) à 18°	27 (liq.) à 27°

Du même auteur (14): Différents charbons broyés dans le vide ont donné (résultats arrondis) en m³ par tonne:

Grand'Combe... ..	3,5 grisou
Nord d'Alès	3,6 CO ²
Fontanes	0,1 CO ²
Tréllys... ..	0,3 CO ² et 0,3 CH ⁴ .

Le docteur J. Herczegh (15) signale, dans le bassin de Pecs, que le charbon fraîchement abattu, broyé à la pression atmosphérique ou en faisant le vide, dégage plusieurs fois son volume de grisou.

Le «Pouvoir absorbant» a été défini à Paturages (14); nombre de m³ de CH⁴ par tonne retenus à 0° et sous la pression atmosphérique:

Nord d'Alès	7,93
--------------------	------

Même pouvoir mesuré par Montluçon en 1930 pour le CO²:

Nord d'Alès	11
--------------------	----

Enfin, notons que le dégagement normal de grisou dans les couches à D. I. du Bassin du Gard est de:

Bessèges... ..	6,5 à 17,5 m ³ par t abattue
Tréllys	15 à 36 m ³ d°
Molières... ..	5 à 18 m ³ d°

Grand'Combe:

1 ^{re} División... ..	34 à 69 m ³ d°
2 ^e División... ..	2 à 8 m ³ d°

* * *

Certains auteurs, attachés à la théorie du D. I. provoqué uniquement par la pression gazeuse naturelle, avancent que le calcul du dégagement gazeux d'un D. I. est généralement mal fait et entaché d'erreur par défaut.

Ceci nous paraît contestable, car souvent on totalise les gaz émis pendant un temps considérable, on compte de ce fait des gaz n'ayant pas participé au D. I. lui-même (dont la durée est de l'ordre de la minute).

Mais il y a plus, la quantité de gaz évalué est rapportée en général au tonnage projeté dans le travaux, seul connu d'une façon certaine, or ce n'est qu'une assez faible partie du charbon mis en cause par le D. I.

Considérons en effet, quelques instants avant le D. I., le charbon qui va être intéressé; il provoque l'expulsion d'une partie du lui-même le reste remplira

l'excavation ayant logé primitivement l'ensemble (charbon et stériles). Cette excavation comprendra ce que l'on appelle généralement la cloche du D. I. et qui est l'orifice de sortie des projections provenant de toutes les directions de la couche suivant des ramifications de forme généralement très irrégulière, mais cette cloche n'est donc qu'une faible partie du volume intéressé, on sait d'ailleurs qu'après un D. I. on rencontre, parfois très loin de celui-ci, des parties à charbon foisonné.

On sait aussi qu'après un D. I. on n'observe pas généralement de mouvement sensible des épontes, les volumes n'ont pas varié, si ce n'est de l'ordre de grandeur des variations de volumes entre une couche fortement comprimée et une couche détendue.

Pour appuyer ce que nous venons de dire nous pouvons citer encore de M. l'Inspecteur Général Jarlier (5): «Il a été souvent signalé que le volume de charbon projeté, compte tenu du foisonnement, est nettement plus grand que celui du vide mesurable qu'il a laissé. Pour autant qu'il en soit ainsi car la mesure de ces volumes est délicate...».

De M. Georges Lalignant (résumé des observations pour la C. D. I.): «Dans les grands D. I. on a constaté du charbon foisonné à 30 m. dans le massif. Le volume projeté est toujours plus important que le vide apparent».

Du même auteur encore: «Très généralement en effet les volumes projetés sont beaucoup plus importants que le vide apparent et d'ailleurs sans relation régulière entre eux, le charbon ferme n'est trouvé qu'à une certaine distance de l'excavation produite».

Observations de M. Raspail sur les D. I. de Bessèges en 1912: «Les poches produites par le déblayage ont des formes bizarres avec des pointements de charbon solide ou des creux. Dans ces poches on n'a jamais constaté l'affaissement de la paroi (toit) et l'ouverture entre toit et mur est égale à l'épaisseur de la couche en place».

D'autres auteurs ont cru pouvoir montrer d'une autre façon que l'on ne doit pas attribuer aux seules projections la production du gaz d'un D. I.: «On estime qu'il y eut 5.200 m³ de CH₄. On pense que le charbon contient en général 30 m³ de CH₄ au m³, ce qui fait 975 m³ contenus dans les projections (D. I. du 24 mars 1930 au puits Thommen du bassin hongrois de Pecs) (16).

Notons que cela signifierait que le charbon intéressé représente plus de cinq fois le charbon projeté (résultat à confronter avec le calcul suivant).

Mais l'ensemble du charbon intéressé par un D. I. peut se calculer d'une façon qui nous semble assez approchée pour donner dans chaque cas un ordre de grandeur.

Soit V le volume occupé par ce charbon alors qu'il est en place dans la couche, mais sans supporter de surcharge mécanique, soit en somme le charbon tel qu'il se présente en place sur un front de taille. Ce charbon comprend la partie qui sera projetée dans les galeries et celle qui, après foisonnement, remplira les vides de la couche.

Soit dans les mêmes conditions V_s le volume des stériles qui sera projeté.

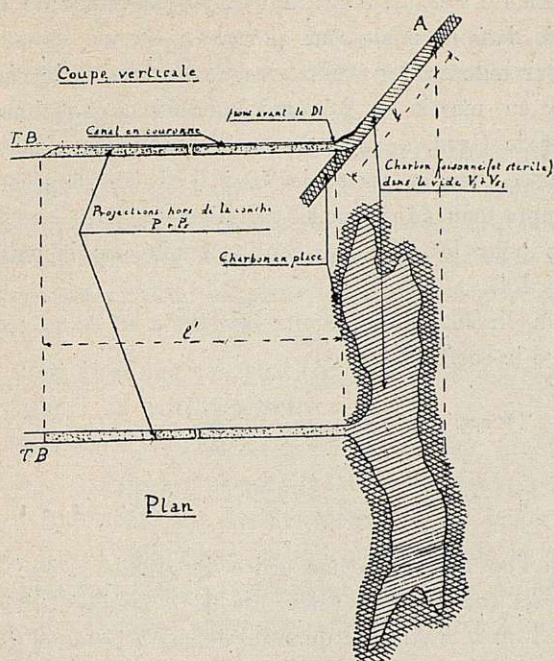
Après le dégagement instantané le volume V qu'occupait le charbon détendu mais en place, a pu varier par suite du mouvement relatif des épontes et devenir V₁ (le volume V_s deviendrait V_{s1}).

Nous admettons aussi que cette variation de V à V₁ tient compte de ce que, à une certaine distance en arrière du front, dans le massif, le volume était inférieur à V par suite de la surcompression et en supposant que cette réduction de volume soit demeurée acquise après le D. I., différence d'ailleurs certainement faible (voir ci-dessous).

Soit l la longueur des vides de la couche, occupés par du charbon foisonné et des stériles, l' la longueur de galeries remplies de projections.

Ces longueurs ne sont pas forcément en ligne droite, ni même en une seule branche. Sur la figure, représentant un D. I. survenu à la rencontre d'une couche par un travers-bancs, la limite est bien nette entre les projections en galerie et les vides de la couche. Dans le cas d'un D. I. dans un traçage en couche la limite est également assez nette entre la galerie dont il suffit de relever le boisage et les vides irréguliers de la couche où l'avancement doit ensuite progresser.

En général, les projections indiquées dans les comptes rendus ne comportent que ce qui a été enlevé dans les travaux ouverts avant le D. I. (il en est toujours ainsi dans le Gard). Si cependant la position exacte du front avant le D. I. n'était pas exactement respectée, la différence qui en résulterait ne serait que peu de chose eu égard aux valeurs importantes de l et l'.



Un point de la longueur $l + l'$ peut être déterminé par l'abscisse x comptée à partir de l'extrémité A.

Soit S la section normale de ce volume au point d'abscisse x et F le foisonnement moyen de l'ensemble du remplissage à partir de l'état V (et V_s), dans la section considérée, variable avec celle-ci.

On peut écrire:

$$V + V_s = \int_0^{l+l'} \frac{S dx}{F}$$

Nous pouvons admettre que les projections dans les galeries ont un foisonnement constant que nous appellerons f , celui du charbon logé dans les vides de la couche sera f' (probablement variable), nous admettrons aussi que f' s'applique au stérile foisonné pouvant être demeuré en couche, nous reviendrons sur ce sujet plus loin.

Les projections hors de la couche sont généralement données en tonnes, soit P ce poids, pour le charbon et P_s pour les stériles, soit δ la densité du charbon en place et δ_s la densité des stériles en place.

On peut expliciter:

$$V + V_s = \int_0^{l+l'} \frac{S dx}{f'} + \frac{P}{\delta} + \frac{P_s}{\delta_s}$$

Nous ne pourrions résoudre complètement la question qu'en formulant quelques hypothèses qui n'em-

pêcheront pas d'avoir un ordre de grandeur de la réponse.

Nous ferons donc successivement deux suppositions:

1.° La variation de f' est linéaire de f à 1 compte tenu de la variation de S ;

2.° f' est constante et égal à f .

Il est probable que la valeur réelle est une courbe comprise entre les deux droites.

Dans le premier cas, nous aurons donc une valeur

moyenne: $f' = \frac{f+1}{2}$, d'où

$$V + V_s = \frac{V_1 + V_{s1}}{\frac{f+1}{2}} + \frac{P}{\delta} + \frac{P_s}{\delta_s}$$

Dans le second cas:

$$V + V_s = \frac{V_1 + V_{s1}}{f} + \frac{P}{\delta} + \frac{P_s}{\delta_s}$$

Nous écrirons maintenant: $V_1 = a V$ et $V_{s1} = a V_s$, a étant un certain coefficient défini ci-dessous.

Nous obtenons alors dans chaque cas:

$$\left\{ \begin{array}{l} V + V_s = \frac{a(V + V_s)}{\frac{f+1}{2}} + \frac{P}{\delta} + \frac{P_s}{\delta_s} \\ V + V_s = \frac{a(V + V_s)}{f} + \frac{P}{\delta} + \frac{P_s}{\delta_s} \end{array} \right.$$

D'où on tire:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \delta = \left(P + P_s \frac{\delta}{\delta_s} \right) \frac{f+1}{f+1-2a} - V_s \delta \\ V \delta = \left(P + P_s \frac{\delta}{\delta_s} \right) \frac{f}{f-a} - V_s \delta \end{array} \right.$$

Nous pouvons maintenant supposer, comme cas extrême, que le mélange charbon-stérile est uniforme dans toutes les parties foisonnées, dans la couche comme hors de la couche, les formules obtenues, qui sont symétriques par rapport à V , P et δ d'une part, V_s , P_s et δ_s d'autre part, peuvent alors se séparer chacune en deux égalités, celles qui sont relatives au charbon et qui nous intéressent sont:

$$\left\{ \begin{array}{l} V \delta = \frac{P(f+1)}{f+1-2a} \\ V \delta = \frac{P f}{f-a} \end{array} \right.$$

Mais en réalité, les stériles (nous ne parlons pas ici des schistes charbonneux) ne participent au dégage-

ment que par entraînement, ils sont surtout prélevés dans le voisinage du point de sortie des projections de la couche (cloche) et, de ce fait, doivent se retrouver presque entièrement dans les matériaux hors de la couche. C'est pour cela que l'hypothèse ci-dessus est un cas extrême, un autre cas extrême serait celui où tout le stérile est projeté hors de la couche, on pourrait alors poser, au début du calcul:

$$V_s = \frac{P_s}{\delta_s}$$

Le même développement donnerait alors dans les deux hypothèses primitives:

$$\left\{ \begin{aligned} V\delta &= \frac{P(f+1) + 2aV_s\delta}{f+1-2a} = \frac{P(f+1) + 2aP_s\frac{\delta}{\delta_s}}{1+1-2a} \\ V\delta &= \frac{Pf + aV_s\delta}{f-a} = \frac{Pf + aP_s\frac{\delta}{\delta_s}}{f-a} \end{aligned} \right.$$

Dans chaque hypothèse, le terme $V\delta$ exprime le poids de charbon intéressé par le dégagement, dans le dernier résultat le terme en P_s augmente $V\delta$, afin de nous maintenir en dessous de la réalité, nous adopterons donc les premiers résultats (A), ce qui revient à supprimer le terme en P_s et à obtenir le poids du charbon intéressé en fonction des seules projections de charbon hors de la couche.

Nous pouvons d'ailleurs ne considérer que de gros D. I. où la proportion de stériles est faible, c'est, en effet, dans ceux-ci que l'on trouve le phénomène à l'état le plus pur.

Dans ces formules, a exprime la variation de la distance des épontes entre l'état V_s du charbon et la situation après le dégagement, comprenant la variation possible consécutive à la surcompression mécanique (de l'ordre de 1 % au maximum) subie avant le D. I.

A ce sujet, nous citerons des essais effectués sur les charbons de Haute-Silésie au Laboratoire de l'Ecole Technique de Breslau d'après Spackeler (17), les résultats sont les suivants:

Pression	200 atm.	300 atm.	400 atm.	500 atm.
Contraction. . . .	0,63 %	0,83 %	1,03 %	1,25 %

On n'a jamais constaté de différence d'ouverture après un D. I., mais ceci signifie seulement que cette différence est faible, car elle n'a jamais été mesurée, nous pouvons admettre au total que la variation est

inférieure à 5 %, d'où: $a = 0,95$ (la valeur de $V\delta$ varie dans le même sens que a).

Par ailleurs, les évaluations de la densité du charbon en massif et foisonné conduisent, notamment dans le Gard, à admettre un chiffre voisin de 1,33 pour le premier cas et de 0,9 à 0,95 dans le second. Compte tenu de ce que la variation est dans le même sens pour les deux cas, on peut admettre la valeur $f = 1,4$.

On obtient donc: (limite inférieure en ce qui concerne le coefficient a)

$$1^{\text{er}} \text{ cas: } V\delta = \frac{P(1,4+1)}{1,4+1-2 \times 0,95} = 4,8 P.$$

$$2^{\text{o}} \text{ cas: } V\delta = \frac{P \cdot 1,4}{1,4-0,95} = 8,1 P.$$

Si l'on admet, comme ordre de grandeur, que ces valeurs encadrent la valeur réelle, il faudrait diviser par 3 ou 5 environ la quantité de gaz à la tonne donnée comme émise dans les D. I. par les comptes rendus.

Nous serions tenté de croire que c'est la valeur supérieure (valeur 5) qui est le plus près de la vérité, d'autant qu'il n'est pas nécessaire que le foisonnement soit complet pour que le gaz, séparé du charbon par une cause à rechercher, puisse s'échapper.

Il reste entendu que cette nouvelle valeur obtenue indique le gaz dégagé par tonne et montre qu'il est faible, mais le gaz agissant élastiquement sur les parties projetées hors de la couche reste bien celui qui avait été évalué.

Ceci confirme qu'une très faible teneur en gaz de la masse est suffisante pour provoquer un D. I., certaines constatations conduisent, en effet, à une valeur de l'ordre de 7 à 10 m³ de CO² par tonne, soit guère plus que l'absorption sous la pression atmosphérique et parfois beaucoup moins, tout le gaz contenu dans le charbon n'est d'ailleurs pas forcément libéré au moment du dégagement. Ceci n'empêche pas que des couches beaucoup plus gazeuses puissent produire beaucoup plus de gaz au dégagement, il est possible que la violence de D. I. en soit augmentée.

* * *

Cette faible teneur en gaz, nécessaire mais suffisante pour provoquer un D. I., explique l'impossibilité d'évaluer le danger présenté par la mesure de la pression gazeuse et, d'autre part, l'inutilité des son-

dages de la couche, soit pour en mesurer la pression dans un but de prévoir un D. I., soit pour purger la couche de son gaz. Elle explique encore l'inaction du drainage par les travaux voisins.

On constate aussi, ce qui confirme l'absence de liaison entre la probabilité d'un D. I. et la quantité de gaz contenu, ou si l'on veut la tension gazeuse interne, que la réciproque est vraie, c'est-à-dire qu'une couche fortement chargée en gaz n'est pas forcément explosive.

C'est ainsi que l'on peut citer de très nombreux cas à l'appui de ces affirmations.

D'après M. J. Wickson, Chef Inspector of Mines, Victoria, British, Columbia (18): «Les zones à D. I. peuvent retenir une pression potentielle de gaz et donner lieu à «Blowout», même quand la couche a été criblée de trous de sonde dont aucun n'a donné une pression gazeuse anormale (mines I Est et 2 de Coal Creek)».

G. Roblings (19), à la mine Coal Creek (à D. I. de grisou) «depuis 6 à 7 ans qu'on pratique le sondage, on n'a jamais rencontré de poche de gaz et on en conclut que ces sondages ne servent pas à grand'chose».

M. Jarlier (20): «C'est la détente et non le drainage qui agit pour une couche égide: Comment le drainage pourrait-il d'ailleurs s'effectuer de façon un peu sensible à travers une épaisseur de terrain de quelques dizaines de mètres d'épaisseur? Notamment, quand la couche exploitée la première est la couche supérieure, de sorte que son dépilage ne produit aucune fissuration. Rappelons que le drainage ne s'effectue pas à travers seulement 2 à 3 m. de charbon, plus perméable pourtant que le rocher (D. I. en cha-pelet)».

M. le professeur Spackeler (21): «On a beaucoup employé les expressions desserrage et dégazage sans, à mon avis, les distinguer suffisamment. Je crois qu'il s'agit surtout de desserrage, les gaz circulant trop lentement pour que le dégazage soit effectif».

Aux mines Coal Creek (22): «L'expérience montre que les trous de sonde sont impuissants; non seulement à prévenir un dégagement mais même à en déceler la probabilité». Suivent quatre exemples de D. I. dont la cloche avait été préalablement traversée par des sondages, sans indication.

De M. J. Dickson (18), encore à Coal Creek: «Il

s'est produit des blowouts dans les chantiers criblés de trous de sonde de 6 m. de longueur».

Dans les «Principes à consulter» pour l'exploitation des mines à D. I. (23), on note parmi les probabilités des dégagements: «Une couche qui n'a pas donné de D. I. à sa traversée par un ouvrage, reste cependant susceptible d'en donner ultérieurement, même dans le voisinage immédiat de cet ouvrage».

D'après le Dr. J. Herczegh (15), dans le bassin hongrois de Pecs: «A Résica on n'a pas obtenu l'assainissement de la couche par sondages, il est arrivé que l'arrêt d'un traçage pendant deux ans n'a pas atténué la tension gazeuse accessible aux sondages».

D'après le professeur Spackeler (24): «Dans le gisement belge, la proportion de gaz dans la couche, d'après les appareils de mesure, ne donne aucune indication sur le danger».

L'auteur ne croit pas au drainage du gaz: «Cet écoulement ne pourrait, en effet, se produire que lentement et progressivement, or, l'immunisation (par détente mécanique) est immédiate...».

Dans le bassin du Don, section de Rycoff, mine Krasny Profintern (25): «La faible efficacité du forage de trous a été constatée là comme ailleurs».

Sur le D. I., du 7 octobre 1937, à la fosse Rudolf de Neurode (26): «Avant le D. I. (de grisou) la pression dans les trous de sonde variait de 0,2 à 0,8 atmosphères».

De M. G. Laligant (27): «Il ne faut pas compter sur sondages ou traçages pour obtenir un assainissement de la couche par simple drainage du massif».

Du même auteur, dans un rapport à la Commission des D. I.: «Les lieux des D. I. peuvent être rapprochés jusqu'à être contigus, même avec des charbons tendres ou de faible compacité et ils peuvent se produire, soit sur des fronts mis à nu depuis un certain temps, soit au voisinage de galeries déjà tracées (nombreux exemples donnés)».

De Bubnoff (28): «A Rubengrube, des piliers de la couche Auton, découpés de tous côtés depuis longtemps et paraissant complètement dégazés ont donné lieu, au tir, à des D. I. (de CO²)».

M. Georges Laligant dans un rapport à la Commission des D. I. signale que ce sont parfois les couches qui donnent les pressions gazeuses les plus élevées (25 à 30 kg.) qui restent indemnes de D. I., tandis que par exemple la Chauffournoise de l'Agrappe, l'une des

plus dangereuses de Belgique, ne donne pas plus de 2 à 3 kg.

A signaler, enfin, l'abandon par les mines belges de la protection par purge du front à l'aide de trous de sonde, pour y substituer des tirs d'ébranlement spéciaux (29).

* * *

Il ne nous semble pas nécessaire d'aller plus loin, pour démontrer que la production des D. I. ne peut être attribuée à la pression du gaz libre existant dans la couche, en équilibre avec le gaz occlus dans celle-ci.

Cependant, nous croyons intéressant d'y joindre l'échec de toutes les tentatives destinées à provoquer un dégagement artificiel et consistant à soumettre un fragment de charbon à une pression gazeuse même très élevée et à supprimer brusquement cette pression lorsque le charbon est saturé. Les quelques cas de bris du morceau obtenus ne peuvent être valablement comparés à un D. I. Nous citerons notamment:

Le Dr. A. Gaertner (30) qui cite l'étude de dissolutions solides, liquides et gazeuses entreprise par la «Gasaccumulator A. G.», de Stockholm: «Les gaz qui se trouvent en dissolution sous pression (acétylène) ne s'échappent que lentement lorsque la pression tombe brusquement, les gaz ne peuvent sous cet état faire exploser le charbon de noix de coco même quand la pression tombe subitement de 30 atmosphères».

M. Audibert (31): «La vitesse de dégazage (en CO_2) est beaucoup plus rapide avec le charbon fin, mais sans jamais être explosive».

Du même auteur (32): «Aucun expérimentateur n'a réussi à donner des projections en détendant une atmosphère de gaz dans laquelle était un morceau de charbon, cela pour des pressions de l'ordre de 100 kg/cm^2 ».

M. Jarlier (6): «Il a été impossible d'obtenir à Montluçon, un dégagement brusque de gros morceaux de charbon si soudainement que l'on ouvre (même en le cassant aux explosifs) le récipient. Seul le charbon en poussière et aggloméré (cohésion faible) et soumis à 150 kg/cm^2 a été brisé».

De M. Audibert (33) encore: «Tous les essais faits pour provoquer la désagrégation de morceaux de houille soumis à une pression gazeuse puis détendus, ont été négatifs».

Ceci prouve que l'écoulement des gaz, en arrière de la surface extérieure, donne naissance en chaque point à une différence de pression inférieure à la cohésion du charbon même très peu solide. Ce qui est probablement facilité par le fait que l'équilibre, long à s'établir dans le sens de l'absorption des gaz, est sans doute également long à se réaliser dans le sens de sa libération.

Ce cas sera à rapprocher de celui d'une couche fortement comprimée dont une surface est brusquement mise à nu, qui sera examiné plus loin.

* * *

Nous admettons donc comme acquis:

- 1.° Que le charbon ayant absorbé le gaz en quantité correspondant à une très faible pression d'équilibre est capable de donner de très violents D. I.;
- 2.° Que si le gaz a été absorbé en quantité correspondant à une assez forte pression d'équilibre, ce qui est réel dans certains cas, cette seule cause n'est pas suffisante pour qu'il survienne des D. I.;
- 3.° Accessoirement, retenons encore qu'il faut de plusieurs heures à plusieurs jours pour que l'équilibre s'établisse entre le gaz absorbé par le charbon et la pression gazeuse ambiante.

* * *

A propos de l'action des gaz, signalons un fait étudié encore récemment, il s'agit du gonflement de la houille sous l'effet de son absorption de gaz sous pression.

Le Dr. Hans Bode (34), signale le gonflement du charbon sous l'effet d'une pression de CO_2 , de même que pour un liquide dans lequel on dissout un solide ou un gaz. L'auteur croit pouvoir établir des relations entre ce gonflement et les tensions qui en résultent d'une part, la production des D. I., d'autre part.

M. Leprince-Ringuet (14), signale aussi (1-2-1936) l'augmentation du volume de la houille en absorbant le gaz.

Mais la principale étude paraît avoir été faite à Montluçon par M. Audibert (32): «Sous une pression de 150 kg/cm^2 de CH_4 , le charbon se dilate de 2 % perpendiculairement aux strates et de 1 % parallèlement. Les épontes s'opposant à la dilatation, il y a

tension». L'auteur en déduit que le charbon ainsi comprimé est broyé, puis projeté si une surface en est mise à nu brusquement.

On peut cependant objecter qu'il faut dans ce cas une pression gazeuse importante laquelle, on l'a vu, n'est pas nécessaire à la production des D. I. et qu'en outre, la pression mécanique qui en résulte n'est pas différente de celle qui provient des pressions de terrains qu'elle équilibre et dont il sera question plus loin.

Ou, sous une autre forme, si une pression mécanique s'oppose à ce gonflement, il devra s'établir un équilibre entre cet effort de gonflement et la pression extérieure des gaz. D'où ou bien l'absorption intermoléculaire sera arrêtée, ou bien la pression gazeuse ambiante montera, or, on sait qu'il n'en est rien. La pression de gonflement ne peut donc pas être importante.

* * *

Enfin, pour en terminer avec les gaz pris en eux-mêmes, nous rappellerons que certains auteurs admettent une grande différence entre les D. I. de CO^2 , qui se rapprocheraient davantage d'une explosion et ceux de CH^4 . Le principal fondement était la violence bien moindre des D. I. de grisou, cependant, il y a eu depuis lors de très violents D. I. de grisou, ayant projeté des volumes considérables de produits solides (plus de 1.500 t). Nous croyons donc, sauf démonstration certaine, que le mécanisme des deux sortes de D. I. est le même, et nous ne les séparerons pas dans notre étude, les différences réellement constatées étant expliquées par la différence des propriétés des deux gaz.

Nous pouvons d'ailleurs citer à l'appui de cette thèse:

M. Leprince-Riguet (12): «Le CO^2 se prête particulièrement aux D. I. parce que le charbon retient des quantités considérables d'acide. Le grisou s'y prête infiniment moins parce que le charbon est plus perméable à ce gaz».

Otto Ruff (7): «Le mode de liaison du méthane et de la houille est le même que pour le CO^2 . La solubilité de CH^4 est sensiblement plus faible, son plus faible poids spécifique en réduit les effets mécaniques».

Professeur Spackeler (24): «Les exposés faits jus-

qu'à ce jour (1932) démontrent que toutes les observations faites et leurs explications sont aussi bien valables pour le grisou que pour le CO^2 . Seule la violence des effets mécaniques est moindre pour le premier ces particularités doivent avoir leur origine dans la nature du gaz...».

Signalons, encore, qu'il se produit des dégagements instantanés mixtes (Rochebelle et surtout Tréllys et Bessèges) pour lesquels les deux gaz se trouvaient mélangés si intimement qu'ils ne se séparent pas après le D. I. et constituent le «grisou lourd» bien connu, que les lampes décèlent non en couronne, mais en sole des galeries. Cela suppose donc un état identique et un mélange molécule à molécule avant le D. I., ce qui concorde d'ailleurs parfaitement avec les idées exposées plus loin.

Enfin, nous dirons que des analyses récentes mais encore incomplètes de gaz prélevés dans le charbon en place, ont montré que de nombreuses couches à D. I., considérées comme uniquement grisouteuses, contiennent en fait 10, 15 ou même 25 % de CO^2 par rapport à l'ensemble $\text{CO}^2 + \text{CH}^4$ (couche VI de Molières, couche I de Ricard, à la Grand'Combe).

On ne peut d'ailleurs tirer aucun enseignement de ce fait, car des couches très «explosives» de Molières (VII et IV des Anthracites) contiennent très peu de CO^2 et, au contraire, des couches indemnes de D. I. (demi-gras de Molières) peuvent contenir autant et plus de CO^2 que de grisou.

III.—LES PRESSION DE TERRAINS

Lorsqu'on eût admis, en général, que la pression gazeuse ne pouvait à elle seule expliquer les D. I. bien caractérisés, puisque une très faible pression n'est pas incompatible avec un phénomène violent et que, d'autre part, une forte pression gazeuse ne donne pas forcément un D. I., on dut se résigner à rechercher une autre cause.

Cette autre cause fut trouvée dans l'action des pressions de terrains. On avait déjà noté la concordance des zones à nombreux dégagements avec les fortes pressions mécaniques: aplombs des piliers résiduels et des limites de dépilages. On avait remarqué que les D. I. n'apparaissent qu'à une certaine profondeur, bien que variable suivant la nature des gaz et les con-

ditions de la mine. Par ailleurs, le rôle de la couche égide, qu'on avait cru être de dégazage, fut d'ailleurs reporté sur le desserrage mécanique, puisque la couche desserrée et idemne pouvait demeurer très chargée en gaz; plus même que d'autres couches donnant des D. I.

On peut citer à ce sujet, parmi des faits innombrables, quelques cas caractéristiques: la couche Saint-Ferdinand, à Molières, très gazeuse et cependant immunisée par l'exploitation préalable de la couche Saint-Jean; la couche Jeanne au Nord d'Alès, immunisée par l'exploitation de Grande Couche, sans que sa teneur en gaz ait diminué. A Grosménil, la deuxième tranche, bien que contenant autant de gaz que la couche vierge, ne donne jamais de D. I.

L'engouement pour cette nouvelle théorie fut tel que les pressions de terrains furent parfois considérées comme la seule cause nécessaire, l'action des gaz étant tout à fait accessoire et d'ailleurs parfois inexistante (Dr. A. Gaertner (30), Phily (35)).

Nous allons examiner plus particulièrement ici ce rôle des pressions de terrains considéré comme suffisant ou prépondérant.

Il semble avoir été introduit de trois façons principales dans les études sur les D. I.

1.° Les pressions de terrains augmentent la tension gazeuse dans la couche.

Considérée comme la résultat du simple jeu des lois de compressibilité des gaz, cette cause n'est pas toujours justifiée.

En effet, en période élastique de la couche, c'est la partie solide de celle-ci qui supporte la pression des terrains, la diminution des vides qui en résulte est certainement très faible et d'ailleurs dans ces vides il y a un équilibre entre le gaz libre et le gaz incorporé au charbon (dissolution, adsorption, etc.), de toute façon il est loin d'y avoir proportionnalité entre la pression mécanique et la pression gazeuse.

Lorsque la limite élastique est dépassée et que l'on entre dans la phase plastique de la couche, la question devient plus complexe, elle sera examinée plus loin, mais ce n'est pas ainsi qu'on l'avait envisagée dans le cas qui nous occupe.

Aussi cette théorie n'est-elle guère citée que pour mémoire.

C'est ainsi que le professeur Spackeler (21), constatant ces difficultés disait: «Un nouveau problème

peut être proposé au Dr. Ruff: quelle modification du régime de la pression gazeuse accompagne dans le charbon une modification de la pression mécanique?».

2.° Les projections solides sous l'effet de la pression statique. On connaît dans ce domaine l'«avancée du front» qui est un phénomène lent et sans ampleur, quoique le tonnage en jeu puisse être important dans une taille, il provient indubitablement de l'éjection d'une masse sous l'effet de la pression statique entre épontes, il ne peut pas être comparé à un D. I. tel que nous l'avons défini au début, même s'il s'accompagne d'émission gazeuse, ce qui est normal si la couche est chargée de gaz.

La confusion avec un D. I. a été facilitée par le fait que l'avancée du massif peut s'accompagner d'un petit D. I. (nous disons petit, car s'il était important l'avancée de front n'aurait pas été constatée, et il est possible que beaucoup de D. I. soient précédés d'une «avancée de front»), qui constitue un phénomène secondaire déclenché par le phénomène principal. De tels D. I. ont été constatés dans des tailles de Molières.

Par ailleurs, l'assimilation est également normale si l'on se place du point de vue sécurité, car le danger présenté est comparable.

Nous reviendrons plus loin sur ce cas, en attendant, citons l'opinion du Dr. Gaertner (36) sur une avancée du front à Saint-Jean de Valérisle: Cette avancée du front «n'est pas un dégagement instantané».

Mais un autre genre a éveillé l'attention, il s'agit des projections à grande vitesse initiale, constatées dans les mines d'or du Witwatersrand atteignant 2.300 m. de profondeur (City Deep). C'est ainsi que les «Rock-Bursts» peuvent projeter plusieurs tonnes de rocher, ou de simples pierres à arêtes vives, très dangereuses (37).

Il est évident que l'étude de ce cas est intéressante en tant que pression de terrains, mais assimiler ces projections par pure détente mécanique, à vitesse initiale importante, mais accélération horizontale nulle, à des D. I., nous paraît excessif. Notons que ces projections exigent une certaine élasticité de la roche qu'on ne rencontre pas dans le charbon, ce phénomène a, en outre, pu être reproduit expérimentalement, contrairement aux D. I.

3.° Les coups de toit.

Les coups de toit peuvent broyer le charbon, celui-

ci étant fortement comprimé, il en résulte une détente avec projections. Mais la détente d'un solide et particulièrement du charbon, ne peut être que de peu d'ampleur. Aussi a-t-on été amené à envisager deux actions concomitantes: la pression mécanique avec broyage, permettant à la pression gazeuse d'éjecter la masse violemment.

On aborde, ici, la première combinaison de deux causes également indispensables, ce qui paraît être un nouveau pas vers la vérité.

Mais un coup de toit peut-il, par des mouvements vibratoires des épontes, provoquer le broyage directement? (Nous signalons qu'il doit se faire dans la masse). Nous sommes tenté d'en douter car, dans la masse, il ne peut y avoir broyage d'une partie que si elle n'est pas maintenue sur toute ses faces, or, l'amplitude des vibrations est-elle assez grande pour fournir cette condition?

De plus, ce broyage mécanique est-il susceptible de donner de la «folle farine» en quantité importante? On sait que celle-ci est si fine que lorsqu'on y plonge la main on a très nettement l'impression de la plonger dans un liquide, or, nul n'ignore combien il est difficile, industriellement, d'obtenir des broyages de cette finesse par écrasement.

Enfin, un broyage par compression mécanique peut-il libérer rapidement et dans tous les cas le gaz de sa liaison à basse pression avec le charbon? Il sera, plus loin, répondu négativement à cette question.

Notons, d'ailleurs, que pour Otto Ruff (4) la simple pulvérisation du charbon, même poussée bien au delà de ce que produisent les effets tectoniques, ne suffit pas pour donner au gaz une vitesse comparable à celle des D. I.

Par ailleurs, le coup de toit ne paraît pas assez général et il n'est guère constaté dans le Gard.

A noter que d'après M. l'Inspecteur Général Jarlier (38), les coups de toit «ne sont probablement pas une cause nécessaire» à la production des D. I.

Dans les mines même où le coup de toit coexiste avec les D. I., on constate les deux phénomènes séparément (Mines de Coal Creek) (22). On arrive même à les distinguer par leurs effets d'après M. J. Dickson (18). «A Coal Creek les bumps endommagent le toit et le mur de la zone affectée tandis que les blowouts n'affectent pas les épontes (sauf éboulement consécutif).»

Quant au broyage sur la partie libre du front, il ne peut qu'avoir des conséquences très limitées, comme chaque fois que la masse intime ne participe pas à l'action.

Il existe même des cas où le broyage ne s'explique pas, notons par exemple (39): «Il arrive fréquemment, surtout si la couche est abordée par le toit, que le dégagement se produit avant même que les mines aient touché le charbon, au déblaiement, on constate en sole une excavation assez petite (moins d'un mètre de diamètre) par laquelle sont sorties les projections qui dépassent souvent 1.000 tonnes».

Nous sommes ainsi amené à considérer le coup de toit comme l'un des cas possibles, de déclenchement d'un D. I., mais non comme une cause directe de celui-ci, d'autant que nous savons que la pression gazeuse nécessaire peut être très faible, d'où tous les coups de toit devraient donner des D. I. en couche à gaz, ce qui n'est pas le cas.

* * *

Faisons une remarque: Nous venons d'examiner différents phénomènes d'une même famille en ce sens qu'ils ont tous pour origine les pressions de terrains (avancée de front, coup de toit, rock-burst), on est maintenant d'accord pour admettre que les D. I. appartiennent aussi à cette famille, ce qui paraît pleinement justifié. Mais ces phénomènes diffèrent par l'existence d'une seconde cause propre à chacun d'eux: propriétés spéciales des épontes, des mortiers-terrains ou de la couche, ou encore présence du gaz dans la couche sous une certaine forme pour les D. I.

Bien entendu, si deux de ces causes particulières coexistent, les phénomènes peuvent se superposer, il peut y avoir ainsi passage de l'un à l'autre, mais aucun intérêt ne réside dans ce passage, au contraire, il paraît bien préférable d'étudier chaque phénomène à son état pur.

* * *

Puisque nous parlons de pressions de terrains, nous signalerons quelques notions, qui seront utiles par la suite, relativement à l'état plastique des roches com-

primées et frettées. Notions qui montrent que la pression mécanique provenant des terrains peut déformer les roches (ou le charbon) mais non les broyer, lorsqu'on se trouve loin de tout vide.

Cet état plastique a été souvent signalé dans les études relatives aux D. I.

Dr. A. Gaertner (30): «Les corps solides comme le charbon peuvent supporter au delà des limites de leur résistance des pressions mécaniques extérieures sans manifester de modification dans la structure cellulaire de leur substance propre...» (sous-entendu, lorsqu'il s'agit d'une masse sans surface libre).

Professeur Spackeler (40): «Si un cube est comprimé sur toutes ses faces, à l'intérieur d'un liquide par exemple, la seule déformation possible est une contraction. La rupture ne peut pas se produire et sous l'effet d'une compression croissante le solide devient plastique. Si la compression cesse, il reprend son volume initial mais non sa forme».

Du même auteur (41): «Dès 1872, Rziha, le perceur de tunnels et le professeur de géologie Heim, ont montré que les roches, à une profondeur suffisante, sont comparables à un fluide visqueux, autrement dit la pression s'y propage dans toutes les directions également et une déformation sans rupture y est possible. Propriété qu'ils désignaient par «plasticité latente». L'approche des travaux fait disparaître cet état».

Nous citerons encore l'étude de M. Fenner (42) traduite par M. l'Ingénieur en Chef des Mines, Damian, pour la Commission des D. I., mais non encore diffusée par suite des circonstances, et celle de M. l'Ingénieur des Mines, Guéronick (43).

Ajoutons que l'existence dans le sol de roches fortement plissées sans rupture (microtectonique) en sont un témoignage. Notons encore que ces roches, quoique broyées, n'ont pas perdu leur cohésion (schistes plissés et laminés, mylonites). Il s'ensuit donc qu'un retour à une pression normale donne une roche nouvelle, déformée, dont les molécules ont glissé les unes sur les autres, mais non une roche disloquée.

Enfin, signalons quelques précisions en ce qui concerne la résistance des roches à la compression (d'après M. Walter Hermann (44):

Limite moyenne de rupture:

Charbon	40 kg/cm ²
Schistes tendres... ..	80 —
— moyens... ..	170 —
— durs	220 —

Ces résultats n'ont qu'une valeur documentaire, ils peuvent varier avec les conditions dans lesquelles les essais ont été réalisés (effet de frettage sur l'échantillon).

Notons que, avec une densité de 2,3, la pression statique serait de 57 kg/cm² à 250 m. de profondeur. Cette profondeur est celle de l'apparition des D. I. de CO² (parfois moins; 125 m. à Fontanes). Il faut environ le double pour le grisou.

Rappelons que la pression peut être fortement amplifiée par une mauvaise répartition, soit naturelle —accident géologique— soit artificielle par l'exploitation (voir études de Guéronick et Fenner).

IV.—LES CAUSES DES DÉGAGEMENTS INSTANTANÉS

De ce qui précède, on peut tirer les déductions suivantes:

a) Les D. I. sont provoqués par du charbon imprégné de gaz (CO² ou CH⁴ ou leur mélange) sans que la pression d'équilibre de ces gaz soit suffisante pour expliquer le D. I. (Cette pression peut être seulement de l'ordre de grandeur de la pression atmosphérique.)

D'où, si les gaz sont nécessaires, d'après la définition même des D. I., leur présence n'est pas suffisante pour donner naissance à ce phénomène, une seconde cause doit y participer.

b) La seconde cause, qui doit intervenir simultanément, est généralement attribuée aux pressions de terrains.

Nous avons, en effet, essayé de montrer que cette seconde cause est également insuffisante pour donner lieu, à elle seule, à un véritable D. I.

Par ailleurs, ce deux seules causes sont signalées avec une généralité suffisante pour apparaître *a priori* comme indispensables. Tout autre phénomène en liaison avec certains D. I., mais qui ne se rencontre pas dans tous les cas, doit être considéré comme secondaire et comparable par exemple à l'amorçage des

explosifs. Il en est ainsi de certaines autres manifestations des pressions de terrains (coups de toit, avancées du front, etc...).

La plupart des auteurs actuels admettent d'ailleurs que ces deux conditions principales coexistent généralement, mais souvent, nous l'avons dit, l'une est considérée comme l'accessoire de l'autre et certains sont d'avis qu'il y a encore D. I. lorsque l'une a disparu.

A vrai dire, c'est généralement la présence du gaz qui est parfois considérée comme accessoire. Nous avons déjà réfuté cette opinion dans la définition basée sur des constatations. Nous y reviendrons par la suite.

* * *

Il reste à expliquer le rôle réciproque des deux causes, rôle dont il a été déjà un peu parlé à propos des pressions de terrains.

On a vu qu'il s'agit de séparer le gaz du charbon afin de lui permettre d'atteindre une pression bien plus forte que celle d'équilibre (souvent voisine de la pression atmosphérique) et de disloquer assez le charbon pour rendre son éjection possible par la pression ainsi acquise par les gaz. Ce problème constitue le fond de beaucoup d'études sans que nous l'ayons vu posé d'une façon explicite.

Sans faire d'hypothèses sur la nature des phénomènes, on peut dire que:

«Dans un D. I. tout se passe comme si un charbon imprégné de gaz à raison de quelques mètres cubes à la tonne et normalement inoffensif, devenait subitement un explosif lorsqu'il est soumis à de fortes pressions (de terrains). Nouvel état qui se manifeste si une cause accessoire et variable (amorçage) déclenche le D. I. par une action à définir.»

Avant de poursuivre plus avant, on peut se demander si les gaz peuvent avoir, après libération de leur liaison avec le charbon, une action efficace.

Dans une couche normalement comprimée mais sans surpression, les vides sont cependant d'assez faible importance, or, même sous la seule absorption à la pression atmosphérique, le charbon contient de 5 à 7 m³ de CO² ou de 2 à 3 m³ de grisou à la tonne. Si seulement, une partie de ce gaz était libérée et uniquement soumise à la loi de Mariotte, il en résulterait

une pression considérable dans ce faible volume offert.

Sans que nous attachions une grande importance à ce résultat numérique qui ne tient compte, ni de la température, ni des variations de volume des vides, pas plus que de toutes les autres causes influant sur le résultat, nous pouvons signaler que si les vides du charbon sont de 0,138 m³ par m³ en place (45) ou de 0,094 m³ (44), soit environ 10 % en acceptant une valeur moyenne, une quantité de 5 m³ de gaz à la tonne (soit pour un volume de 0,750 m³) normalement incluse dans le charbon à la pression atmosphérique donnerait dans les pores, après suppression de la liaison avec le charbon, une pression d'environ 65 atmosphères (Cas du CO²).

Dans le cas du grisou absorbé à la pression atmosphérique, la pression après séparation serait environ la moitié de la valeur ci-dessus, soit plus de 30 atmosphères dans les pores.

On peut, maintenant, se demander si ce gaz, ainsi absorbé par le charbon intéressé, à faible pression, correspondrait aux quantités nécessaires pour expulser les projections, d'après des constatations faites.

On sait que le 1/3 au plus, ou même le 1/5, du charbon intéressé est projeté, et si on suppose qu'il reste dans le charbon projeté environ le quart du gaz absorbable à la pression atmosphérique, cela représenterait au minimum environ 11 m³ et peut-être 18 m³ par tonne de projections hors de la couche pour le CO² et 5 m³ ou peut-être 9 m³ pour le grisou, pour un charbon saturé de gaz à la pression atmosphérique.

Avec un gaz en équilibre à 5 atmosphères et avec le même résidu (correspondant au 1/4 de l'absorption sous une atmosphère) on aurait au minimum environ: 35 m³ et peut-être 58 m³ par tonne projetée pour le CO² et 10 m³ ou peut-être 17 m³ pour le grisou.

Ces quantités sont comparables et même dépassent ce qui a été constaté, elles paraissent largement suffisantes pour provoquer le D. I. par leur détente.

Ceci confirme donc que la seconde cause, pour nous la surcharge provenant des terrains, a pour rôle de séparer le gaz lié au charbon.

* * *

Mais il est évident que pour que le D. I. soit possible, il faut que la dissociation du gaz et du charbon

se produise simultanément dans la masse ou gagne de proche en proche avec une très grande rapidité.

Ayant constaté le broyage du charbon d'un D. I. et ayant cru reconnaître que celui-ci n'est pas un effet nécessaire de l'expansion des gaz (explosif lent et sans densité de charge), beaucoup d'auteurs ont pensé que le gaz est libéré par un broyage préalable dû à une autre cause, qui devient ainsi prépondérante.

Signalons, à ce sujet, pour mémoire, la théorie de Ruff (4), sur la destruction de la cohésion du charbon par les ventres d'ondes stationnaires, provoquées par l'interférence des ondes vibratoires provenant des tirs de mines antérieurs, formant ainsi dans la masse des «nids» explosifs qui donnent des D. I. dès qu'on s'en approche.

Citons M. Rice, cité lui-même par G. Roblings (19): «Les D. I. se produisent là où les mouvements tectoniques ont broyé le charbon, libéré son gaz, qui demeure cependant comprimé sous pression».

Encore M. Spackeler (17): «Le broyage du charbon sous l'effet d'une surcharge et la diminution de la pression du gaz, détruit cette liaison (du gaz et du charbon) et libère de grands volumes de gaz».

Puis, M. G. Laligant (46): «Le dégagement du grisou de la houille ne peut être assimilé à une simple libération par différence de pressions gazeuses entre le massif et la surface mise à nu, il se montre principalement consécutif à des actions mécaniques de pressions, de chocs ou d'ébranlements modifiant la manière d'être du charbon».

Enfin, nous noterons le travaux de M. l'Inspecteur Général Jarlier (20), dont un aperçu peut être donné d'après une lettre du 22 juillet 1942, adressée à propos des expériences de M. Audibert, sur le gonflement de la houille qui absorbe des gaz:

«Je pense que celui-ci (le D. I.) résulte du brusque déséquilibre entre les contraintes dans une région interne de la couche et l'action du massif qui la maintient, déséquilibre provoqué par la rupture de ce dernier et, enfin, que la pulvérisation du solide est provoquée par les contraintes mécaniques résultant de la présence du gaz (allusion au gonflement du charbon ayant absorbé des gaz dont l'action n'est par jugée différente de celle des pressions de terrains) comme de l'action extérieure, le libération soudaine du gaz, entraînant les parties broyées, facilitant et étendant

dans la couche la désorganisation de celle-ci en éléments très fins».

Ces auteurs ont ainsi montré le seul processus paraissant acceptable, soit la séparation préalable des gaz et du charbon. Cependant, au sujet des modes de séparation proposés, nous ferons encore observer que le broyage du charbon par action extérieure ne peut guère se faire qu'au voisinage d'une surface mise à nu, la propagation vers l'intérieur sera lente et limitée par le foisonnement. Mais surtout, le broyage du charbon ne peut pas libérer le gaz, quel que soit le mode de liaison de celui-ci avec le charbon, si la tension gazeuse ambiante n'est pas diminuée dans la masse. (On sait que le charbon broyé absorbe autant de gaz), or, cette tension est, au contraire, augmentée par la pression mécanique des épontes.

Il s'ensuit que la pression ordinaire d'équilibre des gaz pourrait simplement donner plus facilement lieu à détente en raison du broyage du charbon, si celui-ci était possible, mais elle demeure la même, de l'ordre de quelques atmosphères tout au plus au voisinage du front, sauf peut-être pour les couches très chargées.

En tout état de cause, on doit reconnaître que cette hypothèse ne satisfait pas complètement l'esprit et ne fait que déplacer le problème puisqu'il n'est pas indiqué comment le charbon broyé et surcomprimé se sépare brusquement de toute liaison avec son gaz, d'autant qu'une très faible fraction seulement serait broyée finement, séparation qui est cependant nécessaire pour obtenir une pression élevée des gaz.

Nous reviendrons encore sur cette question, mais dès maintenant nous dirons que ce broyage mécanique ne nous paraît devoir provoquer que des phénomènes du genre de l'avancée du front, la différence avec un D. I. provient de ce que le gaz, qui peut être dégagé en abondance, n'a aucun rôle actif, car son dégagement suit le broyage et sa vitesse est en fonction des possibilités d'évacuation, en outre, toute la masse intéressée est située au voisinage du front, et on ne doit pas trouver de charbon foisonné très loin dans la couche, comme dans le cas des D. I., enfin il n'y a pas de «folle farine».

A ce propos, nous signalerons des incidents survenus dans une grande taille à foudroyage, ouverte récemment dans les mines de Trélys (faisceau de Molières), dans une couche de 0,80 m. de puissance moyenne. La charge provenant du mauvais foudro

yage pendant le démarrage et en raison d'un toit peu docile, a donné lieu à cinq phénomènes bien caractérisés, provoqués sur tir (l'abatage se fait encore sur tir opéré du jour) ayant chacun projeté, ou plutôt éjecté hors de l'alignement de l'ancien front, de 50 à 70 tonnes de charbon sans violence (le couloir a été à peine atteint ou un peu déplacé) bien qu'on ait constaté un important dégagement de gaz.

Ces incidents affectent le front sur 10 à 15 m. de longueur; on trouve le charbon foisonné en progressant au delà de l'ancien front sur quelques mètres, d'une façon régulière sur toute la longueur. Il n'y a pas de folle farine, le broyage est assez grossier.

La couche dégage normalement de 25 à 30 m³ de CO² par tonne abattue et 2 à 3 m³ de grisou en plus, il s'agit donc d'une couche très chargée qui subit, en outre, des effets de pression, il devrait donc y avoir de véritables D. I. si le processus proposé était valable.

A noter que les tirs, incapables de provoquer la rupture du toit, n'ont pas déplacé la zone de surcharge, ce qui doit empêcher tout véritable D. I. d'après ce qui sera exposé plus loin.

* * *

Nous allons donc rechercher une autre explication, et en premier lieu voir comment se comporte le gaz dans le charbon surcomprimé, pour cela nous essaierons de ne pas faire d'hypothèse sur la nature de la liaison gaz-charbon, puisque les avis sont encore partagés là-dessus. Seule la modification de la liaison nous intéressera.

Puisqu'il paraît difficile d'admettre que la pression mécanique puisse libérer le gaz normalement en équilibre dans le charbon avec la pression du gaz ambiant et que cependant l'intervention de cette pression mécanique apparaît comme la seconde cause nécessaire, on peut admettre que celle-ci en s'exerçant sur un charbon ayant emmagasiné un gaz (CO², CH⁴ ou mélange des deux), modifie l'état de liaison gaz-charbon, liaison qui devient susceptible d'une séparation brusque.

D'autre part, sous une pression gazeuse même faible, le charbon absorbe plusieurs fois son volume de gaz; il y a donc là une liaison également que nous

appellerons A par opposition au gaz ambiant (dans les fissures et limets par exemple) qui révèle une pression suivant la loi de Mariotte. La liaison consécutive à la surpression mécanique sera alors appelée B.

Il est naturel d'admettre qu'il y a équilibre entre les états A et B et le gaz libre, on en déduit donc qu'aux faibles pressions du gaz ambiant, le gaz lié au charbon se trouve pour sa plus grande partie dans l'état A.

Il est évident d'ailleurs que l'on reconnaît l'absorption dans les pores définie par les auteurs, pour l'état A et la solution solide pour l'état B (ou le phénomène dit topochimique d'interpénétration des atomes). Nous emploierons maintenant ces termes bien qu'ils ne soient pas indispensables. Nous citerons cependant quelques auteurs qui les admettent ou les discutent:

Du Dr. Gaertner (30): «Les gaz se dissolvent, c'est-à-dire s'accumulent dans les cellules (du charbon) dont le volume décroît quand la pression croît. Le point de saturation dans la dissolution aux solides est fonction de la pression du gaz dans la formation».

Puis, Otto Ruff (7): «Le CO² se trouve dans la houille à l'état de dissolution comme dans l'eau, la dissolution étant caractérisée par l'union intime et uniforme du corps dissous et du solvant, molécule à molécule, à proportion de la pression gazeuse ambiante».

Enfin, M. Audibert (32): «Il ne peut y avoir simplement adsorption mais pénétration entre atomes ou cristallites. D'où impossibilité de parler de dissolution, combinaison ou adsorption».

Mais puisque nous parlons de solution, nous citerons, à titre de comparaison une expérience, d'ailleurs notée par M. l'Inspecteur Général, Rodhain (47): Soit un gaz dissous dans un liquide; il est en équilibre avec la pression de ce gaz au-dessus du liquide, si on abaisse brusquement cette pression, il y a formation de bulles au sein même de celui-ci, c'est-à-dire pulvérisation du liquide. On n'atteindrait pas cette pulvérisation mais seulement un dégagement lent, si on substituait une pression d'un autre gaz à la place du gaz dissous.

Remarquons que cette expérience montre que pour qu'il y ait pulvérisation dans la masse il faut, non seulement supprimer la pression d'équilibre du gaz dissous, mais aussi la pression mécanique que ce gaz ou un autre exerçait sur le solvant.

Prenons maintenant une couche en un point assez éloigné des travaux, supposons qu'elle soit imprégnée de gaz correspondant à une pression de l'ordre de grandeur de 1 à 5 atmosphères; pour cette relativement faible pression presque tout le gaz sera dans les pores (adsorbé) en supposant que mécaniquement la couche soit en période d'élasticité. Si ensuite, pour une raison quelconque (approche des travaux par exemple), la pression mécanique se trouve fortement accrue et fasse entrer la couche dans la plasticité, chaque pore tendra à devenir une bulle de gaz (ou de liquide) dans un corps très visqueux soumis à une pression mécanique élevée et subira dès lors cette même pression (ou une pression de même ordre de grandeur en tenant compte de la viscosité certainement très importante), ce qui était loin d'avoir lieu dans la période élastique où seule la légère réduction du volume des pores augmentait quelque peu la pression gazeuse d'équilibre. (On peut aussi admettre, puisque de toute évidence un changement d'état a lieu, que le pouvoir d'adsorption a diminué par suite de la modification de l'état physique du charbon, ce qui augmenterait la pression dans les pores.)

Donc cette pression gazeuse interne devenue brusquement considérable en même temps que la circulation par les capillaires est devenue plus difficile, font qu'une grande quantité du gaz va à passer en solution solide (ou plutôt solution dans un corps visqueux (ou mieux encore état B).

Et nous avons probablement atteint là l'état explosif du mélange gaz-charbon que nous avons dit devoir exister.

Cette modification d'état du gaz contenu dans le charbon est également mise en évidence par les mesures de résistivité dont il sera question plus loin.

Nous pouvons maintenant nous demander ce qui se passerait dans une couche de charbon imprégnée de gaz, fortement comprimée mécaniquement et contenant de ce fait du gaz dissous (état B), si l'on mettait brusquement à nu une surface de ce charbon sans modifier les autres conditions, notamment la pression mécanique qui demeure forte (condition énoncée par les auteurs pour avoir un D. I.), on supprime sur cette surface la pression gazeuse (en supposant que le gaz soit rapidement évacué), mais on lui substitue la pression atmosphérique qui est souvent de même ordre pour la partie détendue, d'ailleurs la modifica-

tion n'intervient que pour une faible tranche derrière la surface mise à nu (cette surface est le contour des parties demeurées comprimées derrière le charbon écrasé et foisonné du front), on ne modifie donc pas sensiblement la pression sur le solvant dans sa masse, d'où on ne doit obtenir qu'un écoulement progressif du gaz, comme dans les expériences où le charbon est imprégné dans une atmosphère de gaz sous pression qu'on abaisse brusquement.

Il ne faut pas en effet, comparer la surface du charbon mise à nu avec la surface libre du liquide solvant, c'est la totalité de la surface des pores qui lui est comparable et dans ceux-ci, à une très faible profondeur derrière la surface libre, la pression du gaz, conditionnée par la pression des terrains, n'a pas varié.

* * *

Il faut donc maintenant rechercher comment l'état explosif d'un charbon fortement comprimé et contenant du gaz à l'état B peut se manifester, c'est-à-dire donner lieu à D. I.

Si nous faisons, au préalable, le point de ce qui a été établi, nous voyons que:

- une couche simplement chargée de gaz ne peut donner lieu à un D. I., il faut, en outre, qu'intervienne une surpression des terrains;
- lorsque cette surpression est établie, une nouvelle étape est franchie dans la préparation du D. I.; mais la couche ne paraît pas encore apte à lui donner naissance par simple mise à nu de sa partie surcomprimée;
- Il faut donc une nouvelle intervention, la plus simple est la cessation de cette surcompression.

Divers auteurs ont déjà entrevu les possibilités que donnent des fluctuations considérables dans la pression des terrains.

D'abord, le professeur Spackeler déjà cité à ce sujet (21): «Si on estime la pression normale des terrains de l'ordre de 100 atmosphères, celle-ci passe à 200 ou 300 atmosphères dans la zone de charge, d'où une chute brusque dans la zone de Trompeter (à 1 ou 2 mètres en avant du front) de 200 atmosphères à 0. A mon avis, le problème qui se pose au chimiste est de déterminer les relations entre cette pression mécanique et la pression des gaz».

Dans la même séance du Reichskohlenrat, le professeur Berg, disait: «Le Dr. Gaertner a fait ressortir que le dégagement résulte de la mobilité que développe dans le charbon en place la surpression d'exploitation. Il rapproche cette mobilité de l'état physique d'un corps comprimé dont la limite d'élasticité est dépassée. Il faut, à mon avis, faire une petite distinction. Sans doute il existe une surcharge limite au delà de laquelle l'explosibilité de la couche est atteinte, mais il ne s'agit pas d'une pression d'écrasement au sens de la résistance des matériaux. Au contraire, la dissolution solide du gaz dans le charbon fait que cette surcharge limite dépassée, la séparation des éléments est instantanée. On peut parler d'une pression de désintégration et d'une limite de désintégration qui serait notablement inférieure à celle qui correspond à l'état liquide. Cette pression de désintégration serait analogue en quelques sortes au point d'ébullition. Elle en diffère en ce que l'ébullition est retardée par la pression alors que l'explosion est favorisée et accélérée par la pression».

Nous allons voir que ce processus, différent de la règle normale, n'est pas nécessaire, pour cela il suffit de poursuivre la comparaison avec le solvant liquide, on objectera que rien ne prouve que l'on puisse pousser aussi loin la comparaison. Nous répondrons qu'il ne s'agit que d'une manière simple d'arriver au résultat commandé par les faits et que les différentes étapes gagneraient évidemment à être précisées par la suite.

Reprenons notre couche gazeuse surcomprimée et supposons maintenant que ce surcroît de pression mécanique, cesse ou s'atténue sensiblement d'une façon assez rapide. Ceci peut s'obtenir par un faible mouvement des épontes, pour une cause que nous rechercherons plus loin. Mais au sein du charbon, peut-être redevenu solide, les pores vont reprendre leurs anciens caractères et dans toute la masse sur toute la surface libre du solvant, c'est-à-dire celle considérable des pores, la tension gazeuse va brusquement tomber, d'une valeur très élevée (quelques centaines de kilos par cm^2 par exemple) à une valeur beaucoup plus faible et peut être moins de 1 atmosphère, la charge mécanique étant à nouveau supportée par le solide et le gaz ayant en grande partie quitté les pores pour se dissoudre.

Le gaz va donc, au sein intime du charbon, entre les molécules et non plus dans les pores, repasser de l'état solide (ou liquide) à l'état gazeux en formant de multiples bulles infiniment petites de *gaz libre*.

On aura, en effet, réuni, avec une très grande intensité, les conditions de la formation des bulles dans un liquide ayant dissous un gaz: diminution de la pression gazeuse d'équilibre, diminution simultanée de la pression gazeuse sur le solvant.

Ce gaz, ainsi reformé sur place (reformé comme corps libre quel que soit son état physique), par suite de la rupture d'équilibre, n'aura pu repasser à l'état adsorbé ou libre dans les pores. Nous savons même que le charbon ne pourrait le réabsorber, en équilibre, qu'après un temps assez long (plusieurs jours pour absorber la totalité d'après les expériences de saturation du charbon).

Nous serons donc en présence de plusieurs mètres cubes de gaz à la tonne, comprimés dans les intervalles intermoléculaires, il est naturel d'admettre que la pression interne qui en résultera, sera celle d'équilibre au moment où existait la surcompression, soit la tension gazeuse qui s'exerçait sur la surface du solvant (plusieurs centaines de kilos).

Toute la masse sera probablement, dès cet instant, pulvérisée (comme le liquide dans l'expérience ci-dessus) et cela simultanément dans tout le charbon ayant participé à la variation des pressions, il ne manquera alors plus qu'une ouverture libre pour qu'elle soit violemment projetée, entraînant les morceaux de charbon qui, par suite de l'irrégularité, n'ont pas participé au jeu des différentes pressions.

A noter que la pression gazeuse, très élevée au moment de la désintégration du charbon, deviendra aussitôt ce résultat obtenu la pression déjà calculée pour le gaz dans les pores sans liaison avec le charbon, pression qui, nous l'avons vu, est encore considérable et justifie l'expulsion violente de la masse.

Le broyage que nous venons d'indiquer ne peut se faire que si les vides des pores permettent l'expansion du gaz, ce qui n'est pas impossible puisque tout se passe alors à l'échelle de la molécule, cependant on peut aussi admettre que ce broyage n'existe qu'en puissance et ne se réalise que s'il y a rupture de la frette, mais il est évident qu'alors il progresse avec une vitesse comparable à celle d'une détonation, dans toute la masse préparée. De toute façon, dès la rup-

ture de la frette, cette masse se trouve en mouvement d'une façon quasi simultanée, ce qui lui permet, sous forme d'une sorte d'émulsion, de suivre les parcours les plus compliqués, et de traverser même des étranglements.

Rappelons, en passant, que seule cette mise en mouvement quasi simultanée, de toute la masse qui doit participer au D. I., explique l'existence d'un canal libre sur toute la longueur des projections. Un écrasement progressant vers la masse à mesure de l'évacuation des produits foisonnés vers les vides, c'est-à-dire lent et de plus en plus retardé, même si cette évacuation se faisait avec l'aide des gaz libérés (en admettant que leur séparation soit ainsi possible), formerait rapidement bouchon dans les galeries, ce qui serait d'ailleurs la seule limite au dégagement, mais on n'aurait alors pas de canal.

Si, toutefois, le frettage n'était pas suffisamment détruit au moment où la surcompression cesse, la masse pourrait très bien se remettre en équilibre de pression au bout d'un temps suffisant, par réabsorption du gaz par le charbon (compact ou écrasé, l'absorption est la même). Dans le cas où le broyage préalable serait possible, en atteignant cette zone, on se trouverait alors en présence de charbon moureux mais parfaitement inoffensif (à condition, bien entendu, qu'une nouvelle alternative de pressions n'intervienne pas).

On peut donc en déduire qu'il y aura danger lorsque, sur une couche saturée de gaz, une haute pression mécanique interviendra pendant un temps suffisant pour permettre le passage de la plus grande partie du gaz à l'état B (dissolution au solide) et qu'une cause pourra abaisser rapidement cette pression mécanique, dans une zone non suffisamment frettée.

* * *

La nécessité de maintenir la pression un certain temps pour obtenir la modification de l'état de liaison du gaz et du charbon (expériences d'absorption des gaz à haute pression) explique qu'un coup brutal et rapide, tel qu'un coup de toit, ne peut donner un D. I., même si toutes les autres conditions sont réunies (couche imprégnée de gaz à l'état A, pression variable si l'allure du coup de toit est vibratoire). Ceci montre pourquoi tous les coups de toit ne don-

nent pas des D. I. dans une couche qui possède l'aptitude à en donner et ramène le rôle du coup de toit à celui d'amorçage.

* * *

Il reste à voir comment se déclenchera un D. I., c'est-à-dire comment la pression mécanique pourra être brusquement réduite.

On peut répondre: tout ce qui est de nature à provoquer un mouvement relatif des épontes de la couche; on pourra citer: la décharge brutale des terrains par coup de toit, par éboulement ou par rupture de dalle, ou encore le déplacement de la zone à surpression par rupture du front sous l'action d'un violent tir de coups de mine (tir d'ébranlement); ceci exige que la zone à surpression soit très proche du front, mais c'est aussi la condition toujours exigée pour la production d'un D. I., et c'est ce qui explique que tous les tirs d'ébranlement ne donnent pas des D. I.

V.—QUELQUES VERIFICATIONS

Depuis que les D. I., ont été constatés, on a cherché à découvrir des indices annonciateurs du danger. Parmi ceux qui ont été avancés, l'un est à peu près constant, c'est la diminution du dégagement normal gazeux à front en cas d'imminence d'un D. I.

Nous citerons notamment:

Compte rendu des voyages en Haute-Silésie de Membres de la Commissions des D. I. (48): «Au sujet de l'accident par D. I. de Venceslaus-Grube, la dégagement normal de CO^2 avait diminué avant l'accident. Dans le Bassin du Gard, on considère justement cette diminution comme un signe de danger».

Ceci s'explique très bien si l'on considère que dans un charbon rendu explosif par une forte pression mécanique le gaz est, soit en solution, soit pour le résidu, à l'état de bulles dans la masse plastique où il est de toute façon emprisonné. D'autre part, cette zone, qui existe probablement souvent en avant d'un front, s'est rapprochée de celui-ci s'il y a un D. I. imminent et la zone détendue, peu importante, ne donne que peu de gaz.

On peut aussi se demander pourquoi les sondages, qui ne révèlent qu'une faible pression dans le charbon

non surcomprimé et imprégné sous une pression de l'ordre de l'atmosphère, n'indiquent pas de hautes pressions lorsqu'il pénètrent dans une zone surcomprimée du même charbon.

Dans le charbon ayant atteint la plasticité et contenant du gaz en solution, la possibilité de circulation de celui-ci est certainement très réduite, autour du trou de sonde se formera lentement une petite zone détendue pendant la progression du trou dans laquelle le gaz et le charbon reprendront leur équilibre à basse pression, puis cette tension d'équilibre baissera encore à mesure de la purge de cette zone détendue. C'est bien ce qu'on constate généralement lorsqu'il y a danger de D. I.

* * *

De nombreux témoins de D. I. ont signalé que l'on entend dans la couche des craquements semblables à des explosions. Ces explosions se rapprochent dans le temps jusqu'à devenir un roulement au moment où le D. I. se produit. Il s'agit probablement du broyage intime par les gaz que nous avons expliqué. Il peut d'ailleurs y avoir, au début, des ruptures de bancs du toit puisque le D. I. doit être précédé d'un déplacement de la zone de charge, mais on ne voit pas comment de telles ruptures pourraient donner lieu au roulement précédant le phénomène.

* * *

On constate généralement une concentration des D. I. dans les quartiers de couches géologiquement accidentées, il est évident que les failles en facilitant le jeu des coins de terrains, peuvent facilement donner des surpressions locales, lesquelles ne sont que peu influencées par l'exploitation et permettent ainsi au front d'approcher de très près les zones à surpression sans les modifier.

Au sujet des serrées de couche, il est évident que si la charge statique est uniforme, la partie la moins épaisse de la couche subira un amincissement élastique total moindre, d'où un déulacement vers la serrée des lignes de force et un accroissement de pression en ce point. (Les roches des épontes sont en effet, beaucoup plus résistantes que le charbon.)

Citons à ce sujet (49): «Au Nord d'Alès (comme en Basse-Silésie), les failles normales qui étirent fortement les couches augmentent l'explosivité, tandis que

les failles inverses qui les renflent tendent à la diminuer».

Ceci entre parfaitement dans le cadre des théories ci-dessus.

* * *

Nous avons déjà signalé, dans le cas des D. I. mixtes, grisou et CO_2 , le mélange intime de ces gaz (grisou lourd) qui s'explique très bien si ces deux gaz étaient préalablement dissous au même solide (ou corps visqueux) et en ont été libérés brusquement sans repasser par l'équilibre à l'état gazeux.

* * *

Nous avons aussi noté la présence, en quantité notable, de folle farine sur les projections d'un D. I. et en avons fait ressortir l'extrême finesse, seule une rupture par des bulles gazeuses à l'échelle de la molécule peut expliquer ce résultat d'une façon satisfaisante. Résultat qui n'est pas atteint par les plus violents tirs de coups de mine.

* * *

Une variation dans l'état d'un corps est généralement mise en évidence par un point singulier de la courbe représentant certaine propriété du corps.

C'est ainsi qu'on a été amené, dans le but de déceler l'approche d'une zone à D. I., à faire des mesures de résistivité électrique du charbon en place.

On sait que le charbon fortement comprimé mécaniquement est, à juste titre, considéré comme dangereux, mais rien ne permet de mesurer le degré de compression. Or, on pouvait penser que ce charbon comprimé devait présenter une résistivité moindre. C'est aussi l'avis de M. Bihl (50), dont les essais sur les terrains en général l'ont amené à conclure: «plus la pression augmente, plus la résistance diminue», essais qui ont notamment porté sur la houille. À noter, cependant, que les mesures ayant amené cette conclusion ont été faites sur des terrains pulvérulents.

Les essais qui furent effectués à la mine du Nord d'Alès, consistèrent à mesurer la résistance existant entre une électrode spéciale introduite dans un trou de sonde et une prise de terre qui était généralement constituée par les rails de la voie. On avait pu démontrer que la résistance mesurée comprenait plus particulièrement celle du charbon avoisinant immédiate-

ment l'électrode, la résistance de contact étant réduite au minimum par le soin apporté à la confection de l'électrode. D'ailleurs, les différences constatées dans les mesures sont telles qu'elles font passer au second ordre les erreurs pouvant provenir des différentes causes.

A signaler, cependant, que des résultats aberrants peuvent être donnés par des mesures au voisinage de nerfs, de limets remplis de calcite ou de pyrite, ou pour toute cause rompant l'homogénéité de la couche, faits signalés par les auteurs ayant traité de la question.

Ceci dit, les essais comportèrent d'abord des mesures à différentes profondeurs du trou de sonde qui donnèrent les résultats suivants.

M. Royer (51): «On constate une diminution de la résistivité de 0,50 à 1 m. de profondeur (dans le même trou), puis une augmentation considérable après 1 m. avec maximum vers 1,50 m., puis décroissance brusque jusqu'à 2 m.; enfin, diminution très lente et stabilisation vers 4 ou 5 m.».

M. Royer regrette que ce genre d'essai n'ait pas été assez poursuivi. Le résultat semble simplement indiquer qu'il faut nettement dépasser 2 m. de profondeur pour éliminer l'influence de la proximité des travaux. C'est ce qui fut fait dans les autres essais.

Les essais principaux ont consisté en la mesure de la résistivité dans la masse en différents points caractéristiques de la couche. Nous citerons le compte rendu à la Commission des D. I. des expériences du Nord d'Alès, dans la séance du 19 décembre 1931 (52).

«Les mesures effectuées paraissent démontrer que la résistivité des charbons à texture friable et des charbons durs qui ont subi le desserage d'une couche égide, est faible et inférieure au mégohm, par contre, les charbons durs et brillants en massif absolument vierge présentent des résistivités élevées et qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de mégohms. Une suite de mesures particulièrement intéressantes a été faite dans une galerie poussée dans un panneau très régulier du banc du toit de Grande Couche qui surplombe exactement une galerie poussée 10 m. au-dessous dans le banc du mur de la même couche; les deux ouvrages ont traversé l'aplomb d'un pilier résiduel de couche Jeanne situé 15 m. plus bas, dont l'effet s'est traduit par la production de trois dégagements instantanés successifs dans le banc du mur. La galerie en

banc du toit qui a été poussée la dernière, a donné des résistivités très fortes (jusqu'à 60 mégohms) à l'intérieur de cet aplomb, avec chutes brusques locales de la résistivité à l'aplomb des trois cloches des D. I. survenus dans la galerie du banc du mur. Il semble donc que la résistivité soit pour le moins en relation avec le régime des contraintes mécaniques d'une couche.»

Citons encore M. Royer (51): «On constate une montée notable de la résistivité dans les zones de surcompression (piliers abandonnés) une baisse à l'aplomb des D. I., une montée dans les serrées de la couche, une montée encore près des failles, mais une baisse à leur contact».

Enfin mentionnons, M. Audibert (33): «Mesures de résistivité au Nord d'Alès, les mesures à quelques mètres en avant du front, tantôt demeurent, dans une zone d'une certaine longueur (parallèlement au front), égales ou inférieures à 30 mégohms, tantôt, au contraire, atteignent sur des zones de plusieurs mètres, ou de dizaines de mètres de longueur, des valeurs considérablement plus élevées atteignant et dépassant 10.000 mégohms.

«La résistivité de 30 mégohms est voisine de celle de la plupart des houilles sèches. La pression dans les capillaires d'eau impure ou de CO² diminue la résistivité. Donc 30 mégohms correspondent à la houille massive, les fortes résistivités correspondent à des piliers résiduels ou à des surpressions...»

Ces résultats bien que discordants, dans ces citations en ce qui concerne les résultats numériques, sont nets au delà de toute espérance au point de vue qualitatif, mais ils ont l'inconvénient d'être en sens contraire des prévisions.

On a cherché à les interpréter suivant le principe de la seule pression de terrains qui avait été à la base de leur mise en œuvre. On a donc dit qu'une pression modérée diminuait la résistivité, mais qu'une surpression augmentait la résistivité par suite de la fissuration du charbon.

Nous croyons que cette assertion ne résiste pas à un examen sérieux.

Puisqu'on admet que les trous de sonde ont pénétré dans la masse compacte qui doit être soumise au régime de la plasticité dans les zones de surpression, il est impossible d'admettre la présence de fissures. Si l'on suppose que l'on n'a pas atteint la plasticité,

mais qu'il y a surpression et dépassement de la limite de résistance avec rupture du charbon, on ne voit pas comment celui-ci, dans un volume offert qui a été réduit, peut présenter des fissures ouvertes alors qu'il n'en présentait pas pour une pression moindre. Or, la fissure ouverte est nécessaire pour augmenter la résistivité. En outre, des fissures provenant de la rupture, seraient orientées, il devrait donc y avoir des divergences dans les mesures et non les concordances remarquables constatées. En effet, un système de cassures perpendiculaires à l'électrode devrait être sans influence sur la résistivité mesurée. Or, justement ces cassures devraient être le plus souvent parallèles au front, d'où perpendiculaires au trou de sonde, recevant l'électrode. En aucun cas, la résistivité perpendiculairement aux épontes ne devrait pas suite être modifiée.

Entre deux zones, détendues (cas des détentes par D. I. survenu à l'aplomb), il devrait y avoir des zones à très forte résistivité près de la partie détendue (possibilité de fissuration) et atténuation de la résistivité vers le milieu de la zone comprimée, on ne constate rien de semblable.

Nous pensons que la netteté des résultats demande une explication plus rationnelle et satisfaisant mieux l'esprit et cette explication paraît ressortir d'elle-même.

La dissolution d'un corps à un autre modifie toujours la résistivité du solvant, il est donc naturel d'admettre que l'état B ou la dissolution de CO_2 ou CH_4 (gaz résistants) au charbon (ou l'interpénétration moléculaire) augmente la résistivité de ce dernier.

Il est vrai qu'on a aussi dit qu'une pression de CO_2 dans les pores diminuait la résistivité du charbon. Ceci n'est pas incompatible avec cela, la pression dans les pores ne faisant que comprimer le charbon et ainsi diminuer sa résistivité, il faut arriver à l'interpénétration intime pour obtenir le résultat inverse.

Nous préciserons que cette explication nous est apparue en lisant le compte rendu des essais de mesures de résistivité, elle est à la base des idées exposées dans cette note, idées qui nous paraissent avoir été confirmées par toute l'étude des D. I.

Généralement, après l'exposé d'une théorie nouvelle, il est d'usage d'en déduire des données pratiques, il serait assez facile d'en faire autant ici, nous jugeons cependant cela prématuré.

Nous dirons seulement quelques mots d'essais destinés à faire progresser les connaissances en la matière et qui peuvent servir à vérifier et à perfectionner les conclusions ci-dessus.

Dans un programme d'expériences, la Commission des D. I. avait inscrit l'essai de synthèse d'une couche à D. I. par compression à l'aide d'une presse hydraulique, d'un gâteau de houille maintenu dans un moule résistant.

Citons encore, M. l'Inspecteur Général Jarlier (20), au sujet de la réalisation expérimentale des D. I.: «Soumettre à une compression variable dans un récipient suffisamment résistant une masse de charbon chargée préalablement de gaz, puis ouvrir brusquement et largement le récipient».

Nous croyons, en effet, que l'on peut ainsi obtenir un D. I. expérimental à condition: d'imprégner préalablement le gâteau de houille par le gaz, d'établir une pression mécanique assez élevée et de la maintenir assez longtemps pour obtenir le passage du gaz à l'état B, puis d'ouvrir rapidement une petite fenêtre pendant que la pression mécanique est supprimée sur le gâteau.

Une autre série d'essais probablement plus faciles peut se faire par la mesure de la résistivité du gâteau en pression, pour lequel on ferait varier cette pression et la quantité de gaz absorbée préalablement.

On pourrait peut-être ainsi obtenir, par comparaison, la mesure de la pression au sein d'un massif et, pourquoi pas? prévoir un jour dans une certaine mesure les D. I.!

Il est évident que cela n'exclut pas l'intérêt considérable de recherches sur les liaisons physico-chimiques du mélange gaz-charbon soumis à de hautes pressions, recherches qu'il convient de renvoyer aux spécialistes.

Alès, le 18 août 1945.

REFERENCES

(Les initiales C. D. I. désignent la Commission des Dégagements Instantanés.)

- 1.—FAYOL.—Note sur les mouvements de terrains provoqués par l'exploitation des Mines. Document n.º 39 de la Commission des D. I.
- 2.—DAVAL.—Présentation des Principes à consulter R. I. M. du 1^{er} novembre 1936.
- 3.—Jaroslav IICNISKY.—D. I. dans le bassin hongrois de Pecs, Montanische Rundschau 1926. Document n.º 42 de la C. D. I.
- 4.—OTTO RUFF.—Untersuchungen über die Entstehung und Bekämpfung der Kohlensäureausbrüche im inederschlesischen Steinkohlenbezirk. Document n.º 8 de la C. D. I.
- 5.—JARLIER.—Revue de l'I. M., n.º 49 du 1^{er} février 1923.
- 6.—JARLIER.—Congrès international des mines, de la métallurgie et de la géologie appliquée. Le mécanisme des D. I., 22 février 1935.
- 7.—OTTO RUFF.—Les causes des D. I. dans les mines de houilles, 14 octobre 1930. Document n.º 36 C. D. I.
- 8.—LEPRINCE-RINGUET.—Lettre du 4 avril 1914 à M. Loiret.
- 9.—Georges RICE.—British Columbia Dpt. of Mines. Bulletin n.º 2, 1918. Document n.º 38 de la C. D. I.
- 10.—BYKOFF, directeur de la Station «Poussières et Gaz» de l'Institut de Recherches scientifiques de Makievka N. K. T. U. R. S. S. Document n.º 63 de la C. D. I.
- 11.—Georges RICE.—Origine des D. I. de gaz dans certaines mines de charbon européennes et canadiennes. Meeting de l'American Institute of Mining Engineers à New-York en février 1931. Document n.º 37 C. D. I.
- 12.—LEPRINCE-RINGUET.—Première note sur le mécanisme des D. I., 12 mars 1931. Document n.º 29 C. D. I.
- 13.—LEPRINCE-RINGUET.—Compte rendu à l'Académie des Sciences du 23 février 1914.
- 14.—LEPRINCE-RINGUET.—Recherches sur le dégagement de grisou et gaz naturels dans les mines, R. I. M. du 1^{er} février 1936.
- 15.—J. HERCZECH.—D. I. de grisou dans les mines de Hongrie et des pays voisins. Document n.º 68 de la C. D. I.
- 16.—ERSTE.—Donau Dampfschiffahrts Gesellschaft. Document numéro 69 de la C. D. I.
- 17.—SPACKELER.—Recherches sur les coups de toit. Zeitschrift für das Berg Hutten und Salinenwesen 1931. Document numéro 54 de la C. D. I.
- 18.—J. DICKSON.—Annexe au «Report of the Minister of Mines British Columbia 1928». Document n.º 44 de la C. D. I.
- 19.—G. ROBLINGS.—Proceedings of the South Wales Institute, vol. XLII, n.º 6, janvier 1927. Documents n.ºs 10 à 13 de la C. D. I.
- 20.—JARLIER.—Observations au sujet du mécanisme des D. I. d'après l'étude des publications faites. Document n.º 31 de la C. D. I.
- 21.—SPACKELER.—Séance du Reichskohlenrat du 4 décembre 1930. Document n.º 35 de la C. D. I.
- 22.—Report of the Minister of Mines British Columbia 1928. Document n.º 44 de la C. D. I.
- 23.—Principes à consulter pour les mines à D. I. Documents numéros 66 et 82 de la C. D. I.
- 24.—SPACKELER.—Dégagements instantanés dans «Kohle und Erz» 1932. Document n.º 76 de la C. D. I.
- 25.—Expériences du tir d'ébranlement. Document n.º 81 de la C. D. I.
- 26.—Das Grubensicherheitswesen im Deutschen Reich im Jahre 1937. Document n.º 99 de la C. D. I.
- 27.—Georges LALIGANT.—Du grisou et des D. I., R. I. M. 1^{er} novembre 1927.
- 28.—BUBNOFF.—Zeitschrift für B. H. S. W. 1928. Document numéro 32 de la C. D. I.
- 29.—Visite en Belgique, décembre 1930. Document n.º 21 de la C. D. I.
- 30.—A. GAERTNER.—La détente des terrains et des gaz par l'exploitation. Document n.º 24 de la C. D. I. et «Glückauf» n.ºs 5 et 6 de 1931.
- 31.—AUDIBERT.—Séance du 28 février 1931 de la C. D. I. Document n.º 73.
- 32.—AUDIBERT.—Note du 16 avril 1942. Document n.º 101 de la C. D. I.
- 33.—AUDIBERT.—Commission technique du Comité central des Houillères de France, séance du 17 juin 1932.
- 34.—Hans BODE.—Petrographischer Beitrag zur Frage der Kohlensäureausbrüche, bureau de documentation minière 1933.
- 35.—PHILLY.—La pression géostatique. Revue de l'I. M. 1922.
- 36.—Compte rendu de la réunion du 13 décembre 1930 de la C. D. I. Document n.º 20 de la C. D. I.
- 37.—Rapport de la Commission des coups de toit du Witwatersrand 1925. Document n.º 49 de la C. D. I.
- 38.—JARLIER.—Lettre au Dr. Gaertner. Document n.º 18 de la C. D. I.

- 39.—Note du 11 août 1931 des mines du Nord d'Alès. Document n.º 43 de la C. D. I.
- 40.—SPACKELER.—La pression sur le massif du charbon. «Glückauf» 1929. Document n.º 40 de la C. D. I.
- 41.—SPACKELER.—La prétendue Onde de Charge, «Glückauf» 30 juin et 7 juillet 1928.
- 42.—FENNER. — Untersuchungen zur Erkenntnis des Gebirgsdrucks. «Glückauf» 1938.
- 43.—GUERONICK.—Revue de l'I. M. 1942 et 1943. n.ºs 465 et 469 à 471.
- 44.—Walter HERMANN. —Thèse de doctorat 1932. Document numéro 75 de la C. D. I.
- 45.—KOMAROW.—N. K. T. Section de la protection du Travail 1930. Document n.º 55 de la C. D. I.
- 46.—Georges LALIGANT.—D. I. et foudroyage dirigé. Congrès international des mines, de la métallurgie et de la géologie appliquée. Paris 1935.
- 47.—RODHAIN.—Sur quelques modes possibles de gisement des gaz dans la houille, «Annale des Mines» 1936.
- 48.—Document n.º 18 de la C. D. I. Octobre 1930.
- 49.—Résumé de la C. D. I. des observations faites depuis 1922.
- 50.—BIHL.—Note sur la réalisation et la surveillance des terres d'un réseau d'électrification du fond d'une mine. R. I. M. janvier 1944.
- 51.—ROLER.—Interprétation des essais de mesures de la résistivité au Nord d'Alès. 16 mai 1932.
- 52.—Document n.º 51 de la C. D. I.

Al término de la lectura no se hacen objeciones, y se pasa a la del siguiente trabajo:

N.º 76. - La cuenca hullera de Moatize (Mozambique)

Autor: D. JOSÉ CASTELLS

Ingeniero de Minas

En el África oriental portuguesa, Colonia de Mozambique, se conoce desde hace algunos años una extensa cuenca hullera, emplazada en el distrito de Tete, a unos 30 kms. del río Zambeze, en vías actualmente de desarrollo y organización.

Hasta ahora la producción de las escasas labores montadas sobre las capas de la cuenca han estado limitadas a unos escasos millares de toneladas al año, que conducidas río abajo eran consumidas casi exclusivamente por las fábricas de azúcar de caña emplazadas aguas abajo, entre Tete y la desembocadura.

Los planes de desarrollo económico e industrial del territorio han prestado gran interés a esta cuenca hullera, capaz de abastecer con gran exceso las necesidades de combustibles de aquel territorio a muy largo plazo. El autor tuvo ocasión de visitar y estudiar el yacimiento en el segundo semestre de 1948. Estas notas constituyen un resumen de las características de la cuenca.

I.—GEOLOGÍA

Las capas de carbón de la cuenca hullera de Moatize en el distrito de Tete, están contenidas en las formaciones de la serie de Ecça del sistema Karroo.

Las formaciones del Karroo, casi sin excepción ho-

rizontales, o casi horizontales, tienen enorme desarrollo en África del Sur, extendiéndose sobre gran parte del territorio de la Unión Sudafricana, el Sudoeste africano en Kalahari, Rhodesia del Sur, Mozambique y territorios más al Norte.

El sistema Karroo presenta, por lo menos, dos interrupciones estratigráficas marcadas, una próxima a la base del sistema y otra próxima a la parte superior. El desarrollo del sistema no es tampoco uniforme. Hacia el Norte, es más abreviado y faltan ciertos horizontes. Así, no ha sido posible extender hasta Rhodesia la subdivisión tiempo ha establecida en El Cabo. Lo mismo ocurre con los depósitos del Karroo de Mozambique y Niassaland. Dada la inmensa área cubierta, la existencia probable de diversas cuencas de deposición y de movimientos inter-karroo, así como la falta de fósiles, no es de extrañar que haya ocurrido así, y aún hemos de congratularnos de que haya sido posible establecer siquiera la correlación de algunos tramos.

En la región Sur, donde el sistema presenta el máximo desarrollo y espesor, la sucesión es aparentemente ininterrumpida. En la región Norte, como ya hemos apuntado, el sistema se presenta muy abreviado; el conglomerado glaciárico está solo esporádicamente desarrollado y únicamente en la parte Sur, de

[illegible]

tal manera, que la serie Ecça reposa directamente sobre terrenos anteriores al Karroo. La misma serie de Ecça es enteramente diferente a la del Sur y contiene carbón. En el sistema hay también una gran discontinuidad estratigráfica. Falta la parte superior de las

series de Beaufort, y la serie de Stormberg reposa directamente sobre los bancos del Ecça o más antiguos. El cuadro que sigue permite formarse idea del desarrollo relativo del sistema en las distintas regiones africanas.

DESARROLLO RELATIVO DE LAS FORMACIONES DEL KARROO EN DISTINTAS REGIONES DEL ÁFRICA MERIDIONAL

Tramos	El Cabo	Transvaal	Valle sup. del Zambeze
	Pies	Pies	Pies
Series de Stormberg	Basaltos del Drakensberg..... 4 500	Bushveld amigdaloides... 1 000	Basaltos de Batoka 1.000
	Arenisca de Cave..... 800	Arenisca del Bushveld.. 300	Arenisca de Forest..... 200
	Red Beds. 1.600	Margas del Bushveld... 400	Conglomerados..... 300
		~~~~~	~~~~~
Series de Beaufort	Superior ..... 2.000	No existe	Pizarras de Madumbisa.. . . . . 2 000
	Medio. .... 1.000		
	Inferior .. . . . 6.000		
Series de Ecça		~~~~~	
	Superior..... 6.000	Superior..... 300	Arenisca sup. de Wankie 300
	Medio... . . . .	Medio (hullero) . . . . 200	Carb. de Wankie..... 200
	Inferior. ....	Inferior..... 200	Aren. inferior..... 150
Series de Dwyka		~~~~~	~~~~~
	Superior (esquist.)..... 650	Conglom. glaciario.... 30	No existe
	Bonder Beds..... 2.500		
	Inferior (esquist.)... .. 750		
Desarrollo total del sistema ..... 27.800		2.430	4.150
		~~~~~	Discordancia o discontinuidad.

a) Las formaciones del Karroo en la cuenca media y baja del Zambeze

Los lechos del Karroo deben extenderse bajo las formaciones aluviales y terrenos modernos en las cuencas de los ríos Buzi y Urema, ya que aparecen en la parte occidental del último y al pie de la región planáltica al Este de las montañas de Gorengeza. De allí discurren hacia el Norte, y luego al N. E. en dirección a Tete.

Teele hace notar que la región Sur de la cuenca tiene tan sólo algunos kilómetros de anchura y está posiblemente plegada hacia el Oeste, contra los gneis;

está compuesta allí por areniscas rojizas, arcillosas o feldespáticas, que deben pertenecer al Karroo superior, ya que están seguidas por lavas basálticas y atravesadas por diques de basalto. Esta faja oblonga es sólo el borde occidental de un gran sinclinal, que presenta fuerte desarrollo al Norte del Zambeze, entre Tete y Port Herald, y que buza hacia el Sur. Esta región fué intensamente plegada durante más de un período.

Un poco al Oeste de Tete comienza otra inmensa área del Karroo, que corre en la dirección del Zambeze hasta pasado Zumbo, para ligarse con la de Wankie-Sengwe. El Zambeze ha aprovechado para abrirse

paso estas formaciones menos consistentes, salvo en la zona en que están al descubierto las rocas del basamento entre Chicoa y Tete, en que aparecen rápidas.

El sistema ha sido estudiado en detalle a lo largo del borde de Niassaland, donde se presenta con una potencia de más de 2.000 m., con la misma distribución que en Rhodesia, pero con potencia mucho más importante. En esta región se encuentran: a) El tramo inferior (Ecce), con areniscas y conglomerados, a los que suceden dos paquetes de esquistos con carbón (y doleritas) separados por areniscas; b) El tramo medio (Beaufort inf.), con conglomerados grisáceos, margas purpúreas con concreciones, y lechos calcáreos ocasionales, madera fósil y moluscos (Paleonodonta), y c) El tramo superior (Stormberg), con areniscas grisáceas y conglomerados con troncos de *Rhexoxylon*, recubiertas por una arenisca roja de formación desértica, con fragmentos de dinosaurios y una formación de lava de espesor hasta 1.500 m., constituida fundamentalmente por basaltos amigdaloides, andesitas, aglomerados con importantes intercalaciones de riolitas e intrusiones riolíticas.

En varios puntos se encuentran capas de hulla con potencias desde menos de un metro hasta varios metros. Este es el caso de la cuenca hullera de Moatize.

En condiciones normales se distinguen dentro de la serie de Ecce tres tramos, cuyas características son las siguientes:

1) Ecce inferior. Esquistos azulados oscuros, o verdosos, con concreciones ocasionales y lentejones de caliza impura.

2) Ecce medio (hullero). Areniscas blanquecinas de grano frecuentemente grueso, que pasan a conglomerados con granos irregulares y pequeños cantos rodados. El feldespato es constituyente habitual. (A veces, la abundancia de mica da un aspecto esquistoso a las areniscas, que presentan marcada tendencia a exfoliarse por los lechos de sedimentación.) Pizarras oscuras con capas de carbón.

3) Ecce superior. Pizarras azules blancas, parecidas a las del Ecce inferior, lo que ha dado lugar a errores en la búsqueda de horizontes carboníferos. La diferencia esencial estriba en la presencia en el grupo inferior de nódulos concrecionales grisáceos o capas impersistentes, muy ricas en cal y fosfatos.

Esta sucesión estatigráfica no se encuentra completa en todas partes, como veremos más adelante.

b) *Los carbones del Karroo.*

En las tres divisiones del sistema Karroo, por encima de la serie de Dwyka, se encuentran capas de carbón beneficiables. Sin embargo, no se han descubierto yacimientos de alguna importancia al Oeste del meridiano 26°.

La parte central, series de Ecce, contiene un número de capas de potencia variable, que proporcionan prácticamente todo el carbón que se produce en África. Normalmente, las capas productivas se hallan comprendidas en un espesor de 100 a 150 m. en la zona central del grupo.

Las condiciones de deposición del grupo fueron muy favorables para el crecimiento de la vegetación y formación del carbón. Es interesante observar que, como regla general, en cada cuenca las capas son escasas en número, pero con frecuencia muy potentes. En el Transvaal no es raro que tengan 3 a 6 metros. El muro de las capas es generalmente de arenisca y de ordinario son más limpias en la parte basal. Hacia el techo aparecen intercalaciones de pizarras y éste mismo suele estar constituido por pizarras oscuras y areniscas delgadas.

Prácticamente, todos los carbones (e incluso las doleritas) parecen estar localizadas en una zona limitada a la parte un poco por encima de la zona media de la formación.

En el paquete pizarreño que constituye la parte productiva, se encuentran las siguientes especies: *Glospteris browniana*, *G. indica*, *G. augustifolia*, *G. retífera*, *G. ampla*, *G. Brancai* y *Schizoneura gondwanensis*.

Mellor, que ha estudiado detenidamente el distrito de Witbank, supone que las capas han sido formadas por el crecimiento de la vegetación *in situ*, es decir, que se trata de formaciones autóctonas. A idéntica conclusión conduce el estudio petrográfico de los carbones de Moatize.

En cuanto a la calidad de los carbones, en Sudáfrica predominan los carbones de vapor semibituminosos; los grasos son menos corrientes y los de «gas» son raros. En Witbank la parte inferior de la capa

segunda da una hulla de 38 por 100 de materias volátiles. Como ya hemos dicho, la parte junto al muro es en general más limpia, mientras que al techo se presenta más emborrascada. En Natal se dan con frecuencia carbones antracitosos generalmente más sucios que los europeos de igual clase. En el distrito de Tete se encuentran hullas grasas de 20 a 22 por 100 de materias volátiles.

Al microscopio presentan gran variedad de composición y estructura. Las hullas más bituminosas muestran gran proporción de vitrita, que a veces conserva estructura celular; es corriente encontrar venas o películas de materia opaca fangosa, causa del alto contenido en cenizas. En la base de la capa principal de Witbank se han encontrado esporas identificables, pero no en la parte brillante, que debe corresponder a períodos de crecimiento forestal. P. E. Hall hace notar la curiosa falta de durita en alguno de los carbones de Witbank. Tampoco existe apenas en las hullas de Moatize; fenómeno particularmente sensible en la capa André.

Desde el punto de vista económico, tiene importancia la alteración del carbón, que pasa a antracita en las proximidades de las intrusiones doleríticas, de las que vamos a ocuparnos a continuación.

c) *Las doleritas del Karroo.*

El sistema Karroo aparece en enormes extensiones asociado con intrusiones doleríticas, que por esta constante asociación han sido denominadas «doleritas del Karroo». Estos fenómenos intrusivos se observan tanto al Sur, en El Cabo, como en Orange, Basutoland y Natal. Rhodesia del Sur y el Norte del Transvaal están poco invadidos por estas intrusiones, salvo la zona SE. de Rhodesia, en que abundan las intrusiones doleríticas en el área Melsetter-Chipinga, que penetran en el territorio fronterizo de Mozambique y atraviesan las series de Umkondo. Están también muy desarrolladas en el valle del Zambeze, particularmente en el sector de Tete.

Estas intrusiones pueden presentarse bajo la forma de «hojas» horizontales o casi horizontales, más o menos concordantes con la estratificación, cubriendo áreas que llegan a veces hasta 5.000 millas cuadradas, como al Norte de Hoppetown. Con más fre-

cuencia las «hojas» doleríticas se presentan inclinadas, con discordancia de 10 a 15° con relación a los planos de estratificación. Normalmente las «hojas» tienen una potencia de 15 a 150 metros en profundidad, pero a veces, como en El Cabo y al Sur de Natal, llegan hasta 300 y 500 metros.

Además de estas formaciones intrusivas, las doleritas aparecen muchas veces formando diques verticales de 2 a 10 m. de potencia y corrida de 7 a 30 kilómetros. Muchos de ellos atraviesan las «hojas doleríticas», lo que demuestra que se trata de intrusiones posteriores.

Como consecuencia de estas intrusiones ígneas, se observan invariablemente en los estratos fenómenos de metamorfismo en los contactos; fenómeno que tienen gran trascendencia económica en las cuencas carboníferas. Por regla general, la alteración de las capas de carbón suele afectar a una zona de anchura equivalente a la potencia de la intrusión, aunque a veces, como en la mina Spitzkop Colliery de Ermelo, un dique de 5 m. de potencia llega a alterar la hulla en una anchura total de 100 metros. Se comprende, por otra parte, que las capas de carbón constituyen dentro de la formación sedimentaria una discontinuidad que facilita el avance del magma. Como consecuencia de estas acciones de metamorfismo, el carbón se encuentra desgasificado y transformado en antracita, por efecto de la pérdida de materias volátiles.

Por su relación con los basaltos de Stormberg, se deduce que la edad probable de estas intrusiones corresponde a comienzos del jurásico.

d) *La cuenca de Moatize (Tete).*

La cuenca hullera de Moatize, distrito de Tete, cubre una faja oblonga del Karroo de una anchura media de unos 2 kms. y una longitud de unos 12 kilómetros, comprendida entre el río Revugue y el monte Cochiro, siguiendo la dirección general NO.-SE., que es aproximadamente la del río Moatize. Esta mancha del Karroo está rodeada por el NE., SO. y SE. por formaciones de terrenos más antiguos pertenecientes a las series de complejos gabro-diorítico y granito-gneísico y ensancha considerablemente hacia el Noroeste.

Los terrenos que comprende la mancha corresponden con toda probabilidad al Eccla medio y superior. Están constituidos por areniscas de colores claros y grano de ordinario grueso, que pasan a conglomerados hacia el NO. y pizarras con capas de carbón. El Ingeniero Sr. A. Borges, en un estudio sobre los carbones en la Colonia de Mozambique, supone que el tramo medio tiene muy escaso espesor y atribuye al Eccla superior las capas de carbón. Personalmente no hemos tenido tiempo ni ocasión de entrar a fondo en este problema; sin embargo, nos inclinamos a suponer que el paquete productivo hullero pertenece al Eccla medio, que debe reposar directamente sobre las formaciones antiguas, como ocurre de ordinario con las formaciones del Karroo en la cuenca del Zambeze y más al Norte.

En primer lugar, y como ya hemos dicho anteriormente, en todas las cuencas hulleras africanas, tanto de la Unión Sudafricana como de Rhodesia, que han sido objeto de investigación detenida, parece demostrado que las capas explotables están contenidas en el Eccla medio. En segundo lugar, no existe contradicción entre esta conclusión y la hipótesis del señor Borges respecto del escaso desarrollo que presenta el Eccla medio en la cuenca de Moatize, pues, en efecto, todo parece indicar que el espesor de las formaciones del Karroo en ella no es muy considerable. Pero además, el señor Borges cita como flora de las pizarras de la cuenca de Moatize las siguientes especies: *Glospteris indica*, *G. browniana*, *Schizoneura africana*, *Sphenopteris lobifolia*, *Glospteris Brancai* y *Gangamopteris cyclopetroides*, y añade: «Estas especies, según Freire de Andrade indican un nivel intermedio entre las series de Eccla y las de Baufort», es decir, aún más elevado. Pues bien, de las especies citadas, la *Glospteris indica*, *G. browniana* y *G. Brancai* son consideradas por A. de Toit como características del Eccla medio y citadas entre la flora típica del tramo hullero en el Transvaal.

Las capas de carbón siguen a grandes rasgos la dirección NO.-SE., la de la mayor dimensión de la mancha. El conjunto ha sufrido intensas dislocaciones. Aunque los plegamientos no sean en general intensos (los buzamientos más acentuados no exceden de 18°), sí son frecuentes y extensos. Pero aún más importantes que los plegamientos son las innumerables fallas que cortan la formación y que han producido sal-

tos y dislocaciones de gran importancia. Además, las intrusiones doleríticas, en forma de diques y filones, son muy frecuentes e importantes; no se cita el caso de «hojas» doleríticas, pero A. Borges habla de pequeños macizos lacoíticos. Con frecuencia, estos diques o filones doleríticos producen saltos de importancia en la formación, como si la intrusión ígnea se hubiera abierto paso a través de trastornos preexistentes. En todo caso, lo que está fuera de duda es que la cuenca está profundamente trastornada y que estos trastornos han influido sobre las características de los carbones e influirán notablemente en la explotación.

Por de pronto, estos fenómenos se reflejan en la calidad de los carbones de la cuenca. Las hullas de Moatize pertenecen al grupo de los carbones grasos de 20 a 24 por 100 de volátiles. Aún atribuyendo estas capas al Eccla medio, resultan bastante más secas que las del Transvaal o Witbank del mismo tramo, que contienen hasta 38 por 100 de materias volátiles. La desproporción sería aún mayor si aceptáramos que estaban comprendidas entre el Eccla superior y las series de Beaufort. Esta circunstancia no es, por cierto, desfavorable, considerando que las hullas grasas son un combustible más valioso que las de vapor de llama larga. Se da todavía otra circunstancia favorable, consecuencia de la desgasificación sufrida por la formación, y es la falta de metano en las labores, que permite el trabajo con lámparas de llama abierta, cosa excepcional en hullas de esta clase. En cambio, los trastornos sufridos habrán de redundar inevitablemente en complicaciones en la explotación, y además las intrusiones doleríticas habrán alterado y desvalorizado la hulla en las regiones inmediatas a ellas, reduciendo el tonelaje útil disponible.

II.—CARACTERÍSTICAS DE LAS HULLAS DE MOATIZE.

Durante nuestra visita a la cuenca de Moatize, tuvimos ocasión de tomar dos muestras completas, de techo a muro, de las capas André y Tchipanga, las dos más interesantes, en vista de los futuros planes de explotación de la cuenca. La primera fué tomada en el fondo del plano inclinado que se perfora actual-

mente en las inmediaciones de la carretera de Tete a Zobue y la de Tchipanga en los talleres de explotación de esta capa, en zona recientemente abierta.

A pesar de todas las precauciones que se tomaron para la extracción y embalaje de las muestras, no se ha podido evitar que éstas llegaran a nuestro laboratorio de Madrid de tal manera desmenuzadas, que no hubo manera de reconstruir la columna cortada, y hubimos de renunciar a obtener el corte petrográfico completo de ambas capas y conformarnos con ensayos de conjunto sobre muestras medias de cada una de ellas.

La determinación de materias volátiles y cenizas de las muestras medias de ambas capas dió los resultados siguientes:

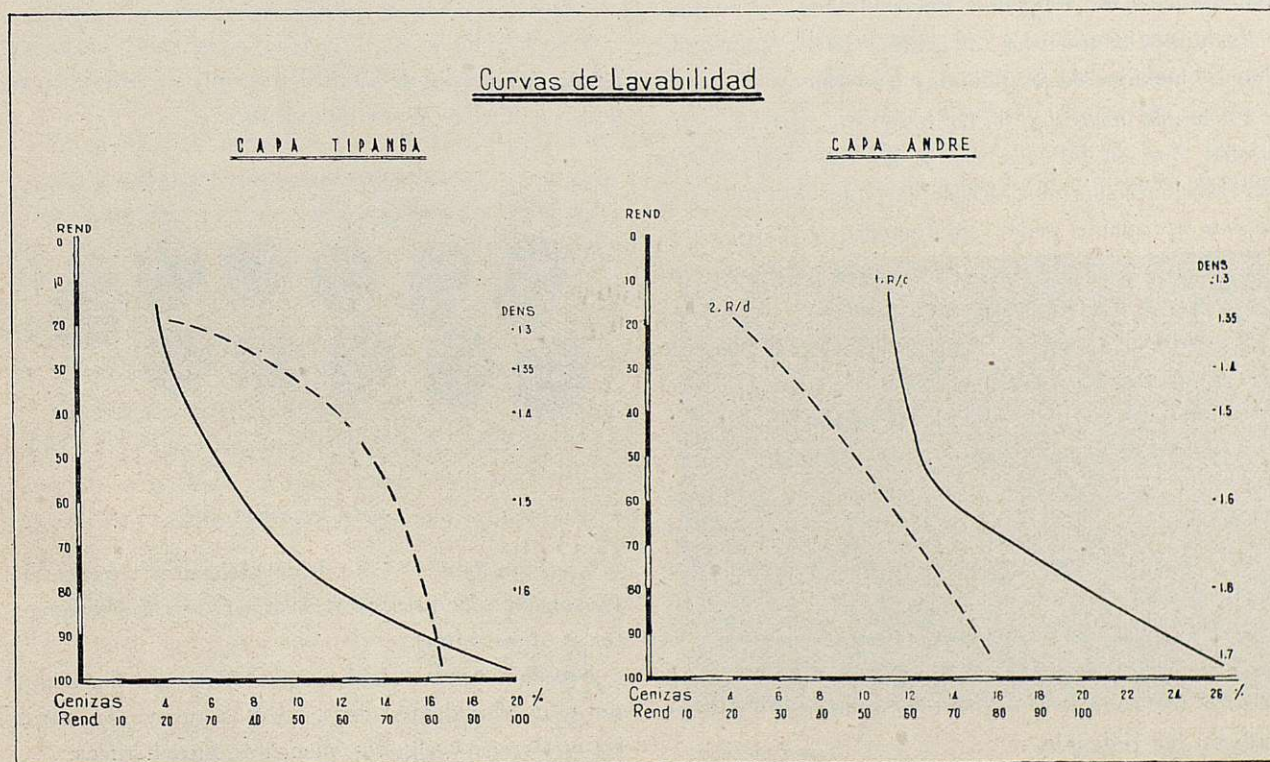
	Materias volátiles	Cenizas
Capa André... ..	24,70 %	26,7 %
Capa Tchipanga... ..	20,50 %	16,4 %

La observación macroscópica de la hulla de ambas capas ya permitía suponer por anticipado este resultado. La capa André presenta innumerables vetas mates, duras, con aspecto de hulla muy cargada de sus-

tancias minerales, mientras que en la Tchipanga son mucho más frecuentes y abundantes los lechos vitrílicos brillantes.

El ensayo de lavado de ambas muestras dió los siguientes resultados:

	Rendimiento de lavado	Materias volátiles	Cenizas
<i>Capa Tchipanga</i>			
Lavado a $d = 1,3$			
Fracción limpia	25 %	23,1 %	4,10 %
Residuo	75 %	19,9 %	18,50 %
Lavado a $d = 1,35$			
Fracción limpia	36,25 %	22,25 %	4,65 %
Residuo	63,75 %	18,25 %	23,75 %
Lavado a $d = 1,40$			
Fracción limpia	60 %	22,05 %	7,70 %
Residuo	40 %	17,17 %	30,67 %
Lavado a $d = 1,50$			
Fracción limpia	74 %	20,90 %	10,05 %
Residuo	26 %	15,60 %	34,47 %
Lavado a $d = 1,60$			
Fracción limpia	78 %	20,40 %	12,25 %
Residuo	22 %	17,65 %	39,80 %



	Rendimiento de lavado	Materias volátiles	Cenizas
<i>Capa André</i>			
Lavado a $d = 1,30$			
Fracción limpia	22,3 %	27,60 %	11,03 %
Residuo	77,3 %	24,02 %	31,55 %
Lavado a $d = 1,35$			
Fracción limpia	31,5 %	27,60 %	11,52 %
Residuo	68,5 %	23,25 %	33,70 %
Lavado a $d = 1,40$			
Fracción limpia	38,7 %	27,35 %	12,02 %
Residuo	61,3 %	22,30 %	36,05 %
Lavado a $d = 1,50$			
Fracción limpia	55,7 %	26,70 %	12,75 %
Residuo	44,3 %	21,10 %	41,20 %
Lavado a $d = 1,60$			
Fracción limpia	68,3 %	25,40 %	16,45 %
Residuo	31,7 %	20,05 %	48,52 %

Estos ensayos han sido realizados con la muestra molida en tamaño de 5 mm. y menos.

En las curvas de lavabilidad que se adjuntan, aparecen gráficamente reflejados los resultados del ensayo.

Incluimos también las fotografías de los botones de coque obtenidos de las distintas fracciones.

La simple inspección de las fotografías permite comprobar que en la capa André las diferencias entre las fracciones son muy escasas y que los residuos conservan apreciable poder aglutinante; en definitiva, que el rendimiento de lavado es precario, por las razones que aclararemos en lo que sigue.

Con objeto de formar un juicio más completo de las características de ambas capas, realizamos la separación por medio de líquidos pesados, de las fracciones de densidades $< 1,3$; $1,3 - 1,35$; $1,35 - 1,4$; $1,4 - 1,5$; $1,5 - 1,6$ y $> 1,6$, operando sobre muestras pasadas por el tamiz de 0,5 mm. Se determinaron las proporciones relativas de componentes de cada densidad y el contenido en cenizas y materias volátiles de cada fracción. Finalmente se hicieron preparaciones microscópicas de todas ellas, siguiendo la técnica de Stach, para realizar su estudio al microscopio con luz reflejada.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

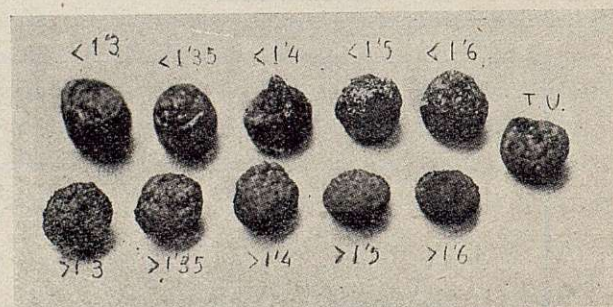
	% en el total	Materias volátiles	Cenizas
<i>Capa Tchipanga</i>			
Fracción $d < 1,3$	18,5	22,55 %	0,75 %
Idem $1,3 - 1,35$	26,2	22,40 %	4,40 %
Idem $1,35 - 1,4$	11,5	20,90 %	11,05 %
Idem $1,4 - 1,5$	20,0	18,60 %	18,00 %
Idem $1,5 - 1,6$	10,1	17,10 %	29,00 %
Idem $> 1,6$	13,7	14,85 %	39,20 %
<i>Capa André</i>			
Fracción $d < 1,3$	11,3	30,70 %	0,70 %
Idem $1,3 - 1,35$	12,1	30,50 %	3,77 %
Idem $1,35 - 1,4$	13,2	28,55 %	9,50 %
Idem $1,4 - 1,5$	15,9	25,98 %	17,27 %
Idem $1,5 - 1,6$	11,8	22,65 %	28,30 %
Idem $1,6$	37,7	19,75 %	52,00 %

Acompañamos una serie de microfotografías de las distintas fracciones de ambas capas, obtenidas con una ampliación de 150 aumentos y objetivo de inmersión.

El estudio de las preparaciones conduce a los siguientes resultados:

Capa Tchipanga.

Fracción de $d < 1,3$. Está constituida exclusivamente por granos de vitrita pura, que de ordinario no deja ver huellas de estructura celular.



Capa Tchipanga

Fracción de $d = 1,3$ a $1,35$. Elementos vítricos, con frecuencia con estructuras visibles y escasos fragmentos de fusovitrita.

Fracción de $d = 1,35$ a $1,4$. Vitrita con inclusiones no muy abundantes de elementos minerales, piritosos y térreos y algunos elementos fusovitricos.

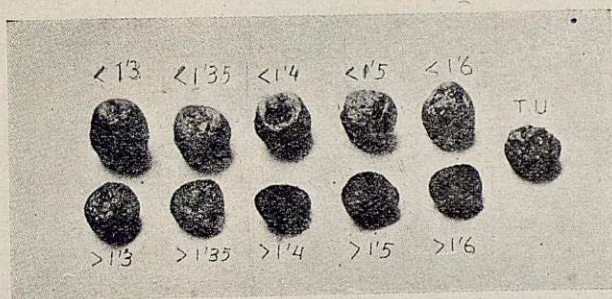
Fracción de $d = 1,4$ a $1,5$. Vitrita con estructuras celulares que engloba elementos minerales. Fusita en pequeños fragmentos y menos gelificada que las fracciones anteriores.

Fracción de $d = 1,5$ a $1,6$. Pizarras carbonosas de pasta vitrítica y estrechas bandas de vitrita. Fusita de estructura deformada por influencias tectónicas y fragmentos de sclerortites.

Capa André.

Fracción de $d < 1,3$. Fragmentos de vitrita pura, frecuentemente con estructuras visibles.

Fracción de $d = 1,3$ a $1,35$. Vitrita estructurada y elementos fusovitriticos en estado de gelificación muy avanzada.



Capa André

Fracción de $d = 1,35$ a $1,4$. Vitrita con estructuras impurificadas por sustancias minerales.

Fracción de $d = 1,4$ a $1,5$. Idénticas características, con mayor abundancia de sustancias minerales.

Fracción de $d = 1,5$ a $1,6$. Pizarra carbonosa con estrechas fajas vitríticas. Algunos fragmentos de fusita con estructura laminada por influencias tectónicas.

Finalmente, para completar el estudio, se determinó en ambas muestras el poder aglutinante, siguiendo el método de Kattwinkel. Para cada muestra se realizaron cinco ensayos y se tomó la media de los valores hallados.

El resultado fué el siguiente:

	Carga de rotura	Índice de Kattwinkel
Capa André	5,100 Kg.	300
Capa Tchipanga	5,900 »	347



Capa Tchipanga

$d < 1,3 \times 150$ inm.

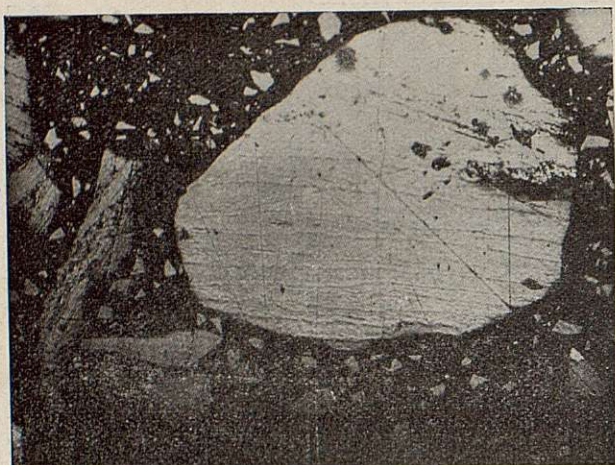
III.—CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

El estudio petrográfico de las hullas de las dos capas André y Tchipanga nos lleva a la conclusión de que se trata de capas de formación autóctona. El componente fundamental es la vitrita, ya pura y conservando con frecuencia restos visibles de las estructuras celulares de los tejidos leñosos, ya más o menos cargada de elementos minerales. Con mucha frecuencia se encuentran vetas de fusita, que en la mayoría de los casos debe clasificarse como fusovitrita, elemento de tránsito debido a la impregnación por los geles húmicos. No hemos encontrado trazas de durita, ni restos de cutículas foliáceas o esporas, y, si tan sólo algunos restos de sclerotites no identificables, fragmen-



Capa Tchipanga

$d 1,3 - 1,35 \times 150$ inm.



Capa Tchipanga

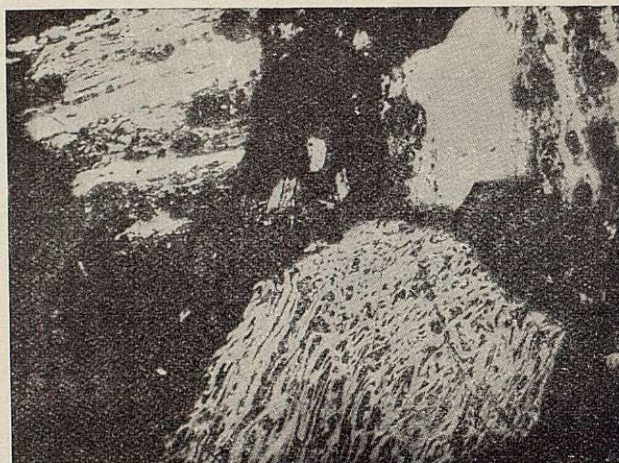
d 1,35 — 1,40 × 150 inm.

tos de hongos saprofiticos, que atacan la madera y contribuyen a la formación de la vitrita y que, por su naturaleza quitinosa, se conservan bastante bien. Todo ello nos indica que estas capas se forman casi exclusivamente a expensas de los tejidos leñosos de las especies que crecieron en bosques de suelo pantanoso ubicados en el mismo paraje en que ahora se encuentran las capas. Estos parajes debieron estar sometidos a alternativas de sequedad y humedad, coincidentes estas últimas con períodos de intenso crecimiento forestal. Las avenidas producidas por los períodos de máximas precipitaciones atmosféricas introdujeron en el sapropel las sustancias térreas y minerales que ahora encontramos en la vitrita. En cambio, estas condiciones no favorecieron la incorporación al

sopropel de los esporangios y restos de hojas, que debieron desecarse al aire y desaparecer, lo que se deduce de la falta de durita y clarita.

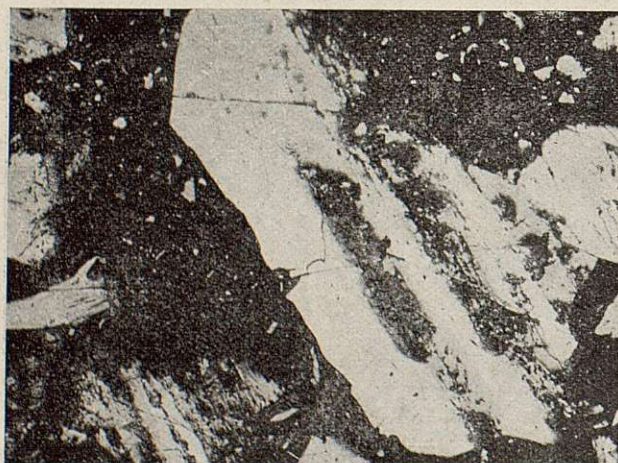
Esta preponderancia de componentes vitríticos explica el alto poder aglutinante de estas hullas, que aun con un contenido en materias volátiles que apenas excede de 20 por 100 en la capa Tchipanga, produce un poder aglutinante semejante al que poseen las hullas de las cuencas inglesa o westfaliana de cerca del 30 por 100 de materias volátiles. El menor poder aglutinante que se observa en la hulla de la capa André, (elevado, sin embargo) se debe únicamente a la mayor proporción de cenizas que contiene, que equilibra con exceso el más elevado porcentaje de volátiles.

De los ensayos de lavabilidad se desprende que,



Capa Tchipanga

d 1,5 — 1,6 × 150 inm.

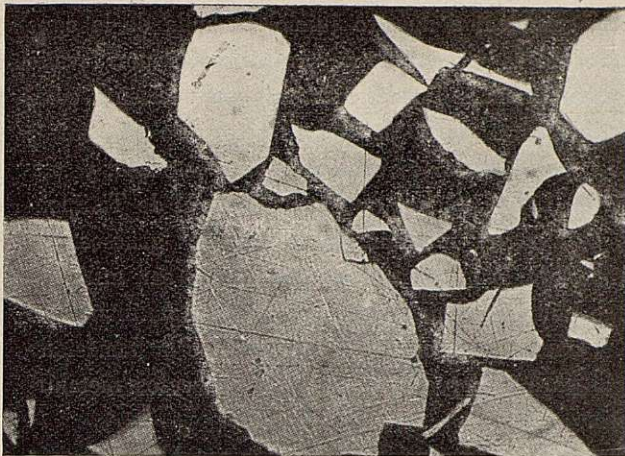


Capa Tchipanga

d 1,40 — 1,50 × 150 inm.

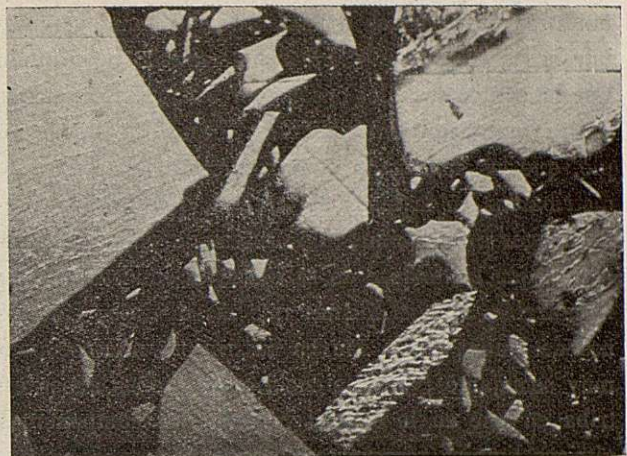
aparte del diferente contenido inicial en cenizas, la capa Tchipanga presenta condiciones de explotabilidad mucho más favorables que la André. Esta última tiene características de lavabilidad francamente desfavorables. En el tamaño 5 mm. a que se realizaron estos ensayos, puede comprobarse que para rebajar las cenizas al 10 por 100 (mínimo que juzgamos indispensable, por ejemplo, para la fabricación de cok metalúrgico), el rendimiento de lavado apenas llega al 30 por 100, lo que resulta absolutamente prohibitivo.

En cambio, en la capa Tchipanga puede lograrse este resultado con un rendimiento de lavado del orden del 75 por 100, que es perfectamente admisible. Si observamos los resultados de la separación de fracciones de distintas densidades, realizada sobre las



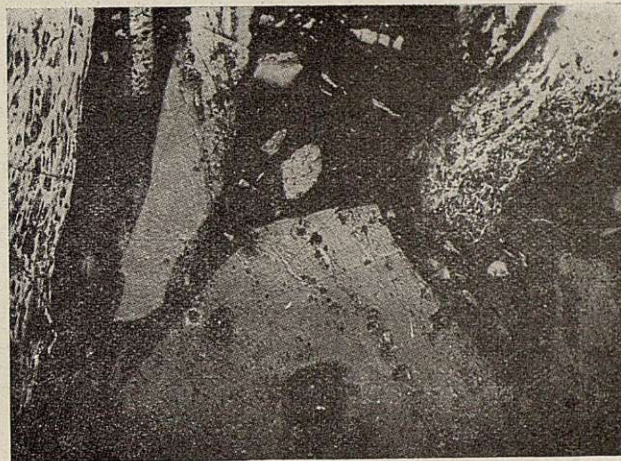
Capa André

$d < 1,3 \times 150 \text{ inm.}$



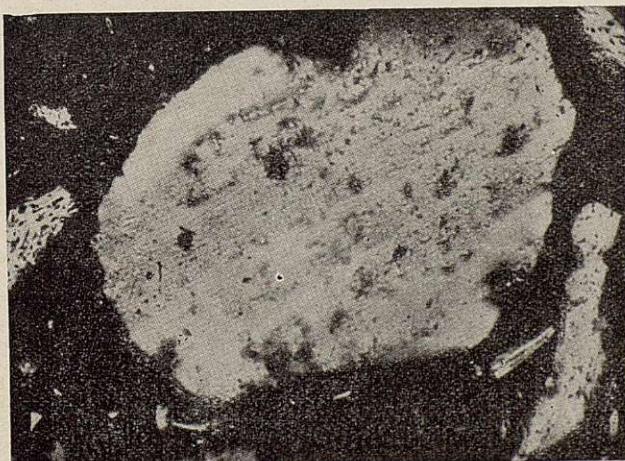
Capa André

$d 1,3 - 1,35 \times 150 \text{ inm.}$



Capa André

$d 1,35 - 1,4 \times 150 \text{ inm.}$



Capa André

$d 1,4 - 1,5 \times 150 \text{ inm.}$



Capa André

$d 1,5 - 1,6 \times 150 \text{ inm.}$

muestras pulverizadas a menos de 0,5 mm., veremos que la fracción de $d < 1,3$ resulta mucho más limpia que la equivalente del ensayo en 5 mm., lo que nos indica, y se confirma mediante el estudio al microscopio, que las sustancias minerales están tan finamente distribuidas en la masa del carbón, que se hace preciso llegar a una trituración extremada para eliminarlas, lo que tratándose de carbones es industrialmente irrealizable. Nótese además que las distintas fracciones de ambas capas son en su aspecto microscópico muy semejantes; la diferencia entre ambas capas estriba en que en la capa Tchipanga los componentes vítricos limpios representan (para este tamaño) el 50 por 100 del total, mientras que en la capa André no suman más que el 23 por 100. Por otra parte, la fracción de densidad $> 1,60$, representativa de la pizarra carbonosa y elementos estériles de las capas, constituye en la capa Tchipanga el 13,7 por 100 del total y contiene 39 por 100 de cenizas; en cambio, en la capa André representa el 35,7 por 100 del total y contiene 52 por 100 de cenizas; es decir, es notablemente más importante y más sucia.

En resumen, a nuestro juicio, la hulla de la capa André no es susceptible de ser mejorada por lavado económicamente. Puede constituir un excelente combustible para vapor, ya que su contenido en cenizas (26,7 por 100) no es obstáculo para este uso, y además el carbón, menos quebradizo que el de Tchipanga, dará mejor rendimiento en tamaños gruesos. En cambio, no cabe pensar en que pueda ser utilizado como hulla de coque, aunque su poder aglutinante sea en sí bueno, pues el coque resultante sería demasiado sucio para poder ser empleado en procesos metalúrgicos.

La hulla de la capa Tchipanga es notablemente más limpia en bruto, tanto, que para la mayoría de las aplicaciones el lavado resulta superfluo. Frágil, como todas las hullas grasas ricas en vitrita, dará en la explotación el labado resulta superfluo. Frágil, como nientemente lavados (con buen rendimiento) pueden dar coque metalúrgico de excelente calidad. El rendimiento en gases, aceites y restantes subproductos será, sin embargo, más bajo que el de las hullas europeas de igual poder aglutinante.

No se presenta objeción al trabajo, y se prosigue con la lectura del n.º 92:

N.º 92. - Ahorremos combustible

Autor: D. JOSÉ M.^a SOLER CARRERAS

Ingeniero Industrial

En las II Jornadas de Ingeniería Industrial celebradas el año pasado tuvimos el honor de presentar un trabajo titulado *El problema de la energía en la industrialización de España*, que hemos refundido y modificado para ser presentado a este II Congreso Nacional de Ingeniería, ciñéndolo especialmente a lo que hace referencia a los combustibles y su aprovechamiento.

BALANCE DE ENERGÍA

La realidad nos ha demostrado repetidamente estos últimos años que el balance de energía en España es altamente deficitario, y existen motivos fundados para suponer que continuará siéndolo en los años próximos, a pesar de las nuevas instalaciones productoras en construcción y proyecto, por poco que siga en aumento la industrialización de España.

Si queremos que este balance actualmente deficitario cambie de signo, se precisan dos condiciones que deben actuar simultáneamente: aumentar el Haber y disminuir el Debe. La primera caerá muchas veces fuera de nuestras posibilidades; la segunda, en cambio, está totalmente en nuestras manos; es siempre posible y nuestro deber de Ingenieros implica el lle-

var en todas nuestras actividades el aprovechamiento de la energía a un máximo.

Para intensificar en lo posible nuestra producción de energía deberíamos considerar separadamente las dos fuentes principales que la alimentan: los saltos de agua (energía mecánica) y los combustibles (energía calorífica), ambas transformables en energía eléctrica, forma en que acostumbra a ser puesta en circulación.

Dejamos para otros compañeros más documentados el análisis de todo lo concerniente a la energía hidráulica, cuyo estudio corresponde a la Sección II de este Congreso.

PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES

En lo referente a los combustibles, debemos partir del principio de que nuestra Península carece, por el momento, de yacimientos de petróleo y que solamente podemos contar con los combustibles sólidos, cuya explotación resulta deficiente, tanto en cantidad como en calidad, lo cual obliga a proceder a importaciones complementarias de hulla y coque metalúrgico.

Sin embargo, estamos plenamente convencidos de que no se ha llegado, ni mucho menos, al límite de

nuestras posibilidades productivas. Por una parte, queda aún mucho que hacer en la zona comprendida entre el Guadiana y el Guadalquivir, ya que se extiende la zona carbonífera a todo lo largo de la sierra, y que sólo está explotada en las zonas de Puertollano y Peñarroya. Por otra parte, citaremos los lignitos de la zona de Teruel, cuya explotación podría fácilmente multiplicarse si se trazara un verdadero plan de conjunto que permitiera un transporte económico en lugar del método actual, completamente anárquico. No debemos olvidar que en un país como Alemania, rica en yacimientos hulleros, la explotación del lignito alcanzaba antes de la última guerra un tonelaje sensiblemente igual al de la hulla, mientras que en nuestro país queda limitado a una décima parte.

Tampoco la calidad de nuestros combustibles resulta la más adecuada para su empleo directo, pues en las hullas abundan los menudos y las antracitosas; pero hoy su empleo no constituye ningún problema técnico, pues el tiro forzado permite quemar ambas clases en los hogares, y una mezcla apropiada resulta admisible para su gasificación y coqueificación.

En los lignitos tenemos también calidades deficientes con alto contenido de azufre, susceptibles de combustión espontánea, que no permiten su transporte a distancia y que únicamente podrán encontrar aplicación adecuada en centrales térmicas a bocamina, si se puede contar con la cantidad de agua suficiente para la condensación.

CONSUMO DE COMBUSTIBLES

Una buena parte de los carbones, y, precisamente, los de mejor calidad, son quemados en los hogares de las locomotoras con un rendimiento global muy bajo, y de ahí la ventaja de la electrificación de las redes de mayor tráfico y de perfil difícil. Esperamos que el plan previsto de electrificación dará la preferencia a aquellas líneas que hoy día constituyen un verdadero problema de explotación, si bien no debemos olvidar que este problema viene en parte condicionado por el de la substitución del gancho de tracción del material antiguo, que con su escasa resistencia limita la posibilidad de aumentar la capacidad de arrastre que supone el empleo de las locomotoras eléctricas de gran potencia. Quizás este motivo haya sido

la causa de que las últimas electrificaciones realizadas hayan abordado más bien los problemas de cercanías, orillando el problema fundamental.

Actualmente, y a causa del déficit productor de las centrales hidroeléctricas, una parte importante de combustible es consumido en las centrales térmicas. Dichas centrales fueron establecidas en su origen para la distribución local de energía y más tarde, al desarrollarse la implantación de centrales hidráulicas, quedaron como simples reservas. De modelo generalmente anticuado, resultan ahora de una explotación antieconómica, y este defecto se manifiesta actualmente cuando, para complementar la energía producida por los embalses, ha habido necesidad de someterlas a una marcha intensiva. Se impone, pues, una renovación total de las mismas a base de altas presiones, con el correspondiente ahorro de combustible y estudiando debidamente su emplazamiento a base de quemar combustibles de bajo precio.

Consideramos que la posibilidad de estas centrales térmicas es mucho mayor de lo que se ha admitido hasta el presente y esperamos que a las inauguradas últimamente en Ponferrada y Puentes de García Rodríguez seguirán en plazo breve las de Aliaga y Escatrón y se estudiarán otras más aprovechando circunstancias locales en que se disponga de combustible abundante y barato y de agua en cantidad, como sucede, por ejemplo, en la cuenca lignitífera catalano-aragonesa.

A las fábricas de gas y coquerías va destinado igualmente un gran tonelaje de hulla, y sería deseable que este tonelaje se aumentara al máximo, por cuanto la destilación y gasificación de los carbones permite, a la par que la obtención de una serie de productos químicos derivados del alquitrán, un ahorro en el consumo al obtener un combustible gaseoso cuyas aplicaciones permiten alcanzar un mejor rendimiento, lo mismo al engendrar energía mecánica que en sus aplicaciones térmicas, permitiendo obtener combustiones perfectas en la industria y en el servicio doméstico. Y no digamos el interés que presenta la consideración del carbono como elemento químico susceptible de ser transformado por procedimientos catalíticos en hidrocarburos de los que carecemos en nuestro subsuelo y en otros productos básicos para la industria química.

Finalmente, va destinado a la industria en general

el resto de combustible que constituye la parte más importante, aplicado a una serie de operaciones diversas, entre las que destacan principalmente su utilización a los procesos metalúrgicos y a los generadores de vapor. Es, precisamente, en la industria donde el rendimiento térmico es más deficiente, y hemos de desear que al estudio de la energía calorífica, la más difícil por ser la más degradada de las formas de la energía, se le dedique la gran atención que ella merece.

LOS HORNOS

Es en los hornos donde tiene lugar la casi totalidad de los tratamientos térmicos y muchos procesos químicos, y las altas temperaturas que se precisan en la mayoría de ellos fueron las primeras dificultades que hubo de vencer para hacer económicos dichos procesos, y citaremos aquí los progresos que hombres tan eminentes como Siemens, Le Chatelier, Damour, permitieron alcanzar con su estudio para la obtención de altas temperaturas.

En efecto, la temperatura que precisa alcanzar en los hornos viene fijada por la propia operación que se ha de realizar, y el problema estriba fundamentalmente en transmitir al laboratorio del horno las calorías necesarias. Se comprenderá fácilmente que la clave del problema consiste en obtener una máxima temperatura de los productos de la combustión para asegurar una rápida transmisión del calor que es función de la diferencia de temperatura entre ambos.

Pero dicha temperatura, en muchos casos, no podrá alcanzarse simplemente con una combustión directa cuando la calidad del combustible empleado no presenta las calidades adecuadas para el caso, y aún en este caso, siempre a costa del rendimiento térmico del horno. Sin embargo, es posible generalmente obtener la temperatura deseada calentando previamente el aire necesario para la combustión, mediante la recuperación del calor contenido en los gases procedentes del laboratorio. También es posible la solución del problema procediendo a la gasificación del combustible sólido y recurriendo a una recuperación simple o doble, según se desee calentar el aire secundario o, a la vez, el propio gas producido.

Muchas operaciones industriales han tropezado con

el inconveniente señalado cuando han fallado los suministros de buenos carbones, y generalmente la solución adoptada ha sido el empleo de «fuel», el cual permite con su elevada potencia calorífica y la posibilidad de reducir a un mínimo el exceso de aire, obtener una temperatura más elevada que con el carbón, sin tener en cuenta que en la mayoría de los casos una simple recuperación de calor hubiese constituido una solución perfecta.

Hemos visto estos últimos años hacer del consumo de «fuel» un verdadero abuso, pues si bien ya hemos indicado la ventaja indiscutible que presenta en los casos en lo que se requieren elevadas temperaturas, esta ventaja se convierte en desventaja en muchos casos, porque ataca más de lo indispensable al revestido refractario, por lo cual debe limitarse su empleo a casos específicos, tomando en cuenta que el material refractario debe ser importado a costa de sacrificios.

La recuperación de calor se efectuaba primeramente con los clásicos regeneradores «Siemens», a base de material refractario con las consabidas inversiones, pero actualmente la metalurgia pone a nuestra disposición aleaciones resistentes a altas temperaturas, que permiten realizar una marcha continua con los llamados recuperadores propiamente dichos.

Continuando el análisis de los hornos, vemos cómo los gases de la combustión salen del laboratorio a temperaturas muy elevadas con un contenido de calor sensible que sobrepasa muchas veces la mitad del calor total del combustible.

Ya hemos indicado anteriormente cómo la instalación de una recuperación de calor permite que, parte de éste, entre de nuevo en el circuito, mas a pesar de ello, todavía a la salida del recuperador su contenido en calor es susceptible de ser aplicado a otras operaciones, como secado y producción de vapor; cosa desde luego, imprescindible cuando la instalación carece de recuperación, mediante las calderas llamadas de este modo y especialmente estudiadas para tal fin.

Debemos asimismo insistir aquí sobre las ventajas que presentan los hornos continuos, ya que lo mismo el horno de cuba que el de túnel permiten la recuperación del calor de los gases, al propio tiempo que el de los productos elaborados, y procede señalar el buen éxito alcanzado por el horno túnel en diversas aplicaciones y especialmente en la industria cerámica.

También debemos hacer notar la economía que supone el empleo de materiales aislantes en la constitución de los muros de los hornos, ya que en el balance térmico de estos últimos las pérdidas por las paredes suponen una fracción muy importante del calor total, cuando se trabaja a altas temperaturas. Hoy día se fabrican en España ladrillos aislantes a base de «kieselghur», que nada tienen que envidiar a los de procedencia extranjera.

LOS GENERADORES DE VAPOR

Si analizamos el funcionamiento más corriente de los generadores de vapor, tan difundidos en la industria, veremos en seguida que es posible realizar en ellos grandes economías de combustible, por cuanto la mayoría de los mismos trabajan en condiciones totalmente desfavorables, con escasa o nula y sometidos al capricho de un fogonero muchas veces incompetente y generalmente subvencionado por el suministrador de carbón y, por tanto, más interesado en derrochar combustible que en ahorrarlo.

Podemos considerar en el generador de vapor tres partes fundamentales: el hogar en que se realiza la combustión, la superficie de calefacción que transmite el calor de los gases de la combustión al agua del generador a través de las paredes metálicas y la circulación de los productos de la combustión.

El problema del hogar de un generador de vapor no es el mismo que el de los hornos. En estos últimos se trata generalmente de obtener temperaturas elevadas, cosa que no es indispensable en los generadores. Así se comprende que se procure en el primer caso obtener una combustión neutra y aún a veces reductora para alcanzar en lo posible la temperatura teórica de combustión y una llama de gran radiación, sacrificando a este fin el comportamiento de los materiales refractarios. En el caso de las calderas este sacrificio es totalmente improcedente y se debe rebajar la temperatura del hogar cuando se trabaja con combustibles cuyas cenizas presenten un bajo punto de fusión, que es precisamente el caso general de nuestros carbones. Esto explica lo que ocurre en muchos casos cuando, disponiendo de un analizador de los gases de la combustión, se impone el criterio equivocado de mantener un elevado porcentaje de CO_2

con la posibilidad de tener pérdidas por formación de CO y de no quemados en las cenizas.

Actualmente es técnicamente imposible quemar en perfectas condiciones cualquier clase y tamaño de combustible, desde la antracita hasta la hulla grasa y desde el menudo de flotación hasta el cribado, y en cada caso se dispone de un quemador adecuado. El problema actual estriba más bien en la falta de continuidad de suministro, y en muchos casos será preferible emplear un sistema técnicamente menos perfecto si se quiere, pero que permita en cambio un amplio margen de aplicación.

La superficie de calefacción ha sufrido una evolución total desde la primitiva caldera de hervidores hasta las modernas tubulares con circulación forzada, a medida que la presión de trabajo ha aumentado desde unas pocas atmósferas hasta la presión crítica. Cada uno de ellos presenta sus ventajas e inconvenientes en lo que hace referencia a su construcción y a su comportamiento en marcha. El haz tubular es, desde luego, muy adecuado para resistir altas presiones, pero la elevada cifra de vaporización conseguida en los mismos y el pequeño volumen de líquido lo hacen poco adecuado para los casos en que el consumo de vapor es muy variable. El modelo de hogar interior, con su gran volumen de agua, es perfectamente adecuado para estos casos, pero su construcción no se presta para resistir grandes presiones. Citaremos también aquí las nuevas calderas con circulación forzada tipo «Lamon Velox», «Sulzer», cuya aplicación queda limitada a casos especiales, por ejemplo, calderas de punas a causa de la falta de volante de agua.

Debemos hacer notar aquí el verdadero abuso que se viene haciendo de la caldera vertical tipo «Field», muy adecuada para pequeñas producciones por su facilidad de emplazamiento y ahorro total de mampostería, pero que son inadecuadas en general por su bajo rendimiento, de no suplementarlas con artificios adicionales para el aprovechamiento del calor de los productos de la combustión.

Estos productos de la combustión, al abandonar la superficie de calefacción, presentan generalmente una temperatura muy por encima de la precisa para asegurar su evasión a la atmósfera por tiro natural. Presenta, pues, interés la recuperación del exceso de calor contenido en los mismos, tanto más cuanto, en muchos casos, la conservación del material refrac-

tario impone reducir el porcentaje de CO_2 , lo que trae como consecuencia un aumento de la cantidad de gases y, por tanto, de su calor sensible.

Esta recuperación se realiza generalmente en dos formas distintas y muchas veces simultáneas: el calentamiento del agua de alimentación del generador por los llamados economizadores y el calentamiento del aire que generalmente no se emplea para la alimentación del hogar, sino que se destina a operaciones de secado en la misma industria.

Como el precio de la unidad de superficie del economizador resulta más bajo que el del generador, existe, pues, una ventaja en disminuir la superficie de éste para aumentar la del primero. Debemos hacer notar, sin embargo, el peligro que encierra el rebajar demasiado la temperatura de los gases, que puede traer como consecuencia la formación de condensaciones y el consiguiente ataque del economizador. La determinación exacta del punto de rocío sería fácil, si se tratara solamente de vapor de agua, pero nuestros carbones, y especialmente los lignitos, contienen elevados porcentajes de azufre que se transforma en SO_2 en el hogar; pero este último, en el curso de su contacto con las paredes refractarias y metálicas, que actúan como verdaderos catalizadores, lo hacen pasar a SO_3 , y, al combinarse éste con el vapor de agua, se forma ácido sulfúrico, que puede dar lugar a condensaciones prematuras si la temperatura de la superficie metálica cae por debajo de los 200°C .

Este peligro es menos de temer en el caso de los calentadores de aire, puesto que, por ser casi iguales los pasos de calor de los gases a la superficie metálica y de ésta al aire, la temperatura de la misma difiere apenas de la semisuma de las temperaturas de ambos flúidos. Es por este motivo por lo que, cuando se emplean ambos sistemas de recuperación en un mismo circuito, el orden de colocación a partir del generador es siempre economizador-recalentador y no el inverso.

No debemos olvidar, sin embargo, que al introducir estos aparatos en el circuito de los gases, establecemos una serie de resistencias que se traducen en pérdidas de carga que en muchos casos no podrá vencer el simple tiro de la chimenea, y deberemos recurrir al tiro artificial, que puede realizarse por aspiración o por impulsión. En el primer caso se somete todo el conducto de aspiración a una depresión que causará una serie de entradas de aire exterior por to-

das las rendijas de los conductos, aumentando el volumen de los gases y rebajando su temperatura. Trabajando por impulsión se puede equilibrar la presión en la puerta del hogar de manera que las entradas falsas de aire queden reducidas a un mínimo. Si la aspiración se realiza directamente por el ventilador, la potencia absorbida por éste, proporcional al volumen de los gases, será mucho más elevada que en el caso de impulsión, por trabajar en tal caso el ventilador con el aire frío.

Hasta aquí hemos considerado el generador de vapor en régimen continuo y uniforme. Las cosas se complican cuando se producen variaciones bruscas en el consumo de vapor; la presión baja, asimismo, como el nivel de agua. El fogonero consciente se ve obligado a aumentar la alimentación y forzar la carga de combustible hasta obtener de nuevo la presión y el nivel normales, cosa que no consigue hasta después de un largo período, durante el cual la combustión no se realiza en buenas condiciones por falta de aire; de ahí que estas anomalías supongan siempre un descenso notable de rendimiento. En otros casos, el fogonero asiste impasible a estas variaciones y espera tranquilamente a que se restablezca el equilibrio, con la consiguiente merma en la producción.

Afortunadamente, se han estudiado artificios reguladores automáticos que actúan directamente, prescindiendo del fogonero, sobre los diferentes órganos de carga de combustible y de tiro, según las necesidades de vapor consumido, la caída de presión, la composición de los gases, etc., para mantener unas buenas condiciones de combustión; pero estos artificios son, desde luego, caros y complicados, y por lo tanto, sólo se adoptan para grandes instalaciones.

Se comprende, pues, la ventaja de mantener las calderas en un régimen lo más constante posible mediante el empleo de generadores de gran volumen de agua o adoptando la solución a base de acumuladores que atenúen en lo posible las variaciones. Estos últimos se dividen en dos grupos, según trabajen a presión constante o variable; este último aplicable únicamente cuando se dispone de dos o más circuitos de vapor a distintas presiones.

Por todo lo manifestado se deduce que el estudio de un generador de vapor para una aplicación determinada no es nada sencillo, si se quiere tener en cuenta todos los factores que intervienen en su rendimien-

to. Sin embargo, y en la mayoría de los casos, cuando llega esta ocasión, se echa mano de lo que se encuentra disponible en el mercado, con lo que, generalmente, no se resuelve ninguno de los problemas, pero se procura salir del paso a fuerza de derrochar combustible.

Si ya en la producción de vapor encontramos tantos puntos susceptibles de ser mejorados, mucho mayores se presentan aún por lo que hace referencia a su empleo.

Siguiendo el circuito de vapor desde el generador hasta los aparatos en que es empleado, nos encontramos generalmente con una red de tuberías casi siempre de diámetros insuficientes y algunas veces sin el menor aislamiento, lo que origina una caída de presión exagerada y hace muchas veces impracticable la aplicación de una máquina a contrapresión. Los contadores de vapor brillan desde luego por su ausencia.

Cuando interesa la producción simultánea de fuerza motriz y vapor para calefacción, este sistema a contrapresión, resuelve el problema en una forma sencilla y económica que desgraciadamente no siempre es aplicable, por lo que debe recurrirse a sistemas más complejos con una o varias tomas intermedias que permiten, en verdad, mejorar el ciclo de Rankine con el calentamiento escalonado del agua de alimentación.

Existen una serie de industrias que permiten realizar este acoplamiento de producción de vapor y energía, y conviene citar a título informativo el caso de haber presentado conjuntamente con nuestro buen amigo y compañero señor Izard, en el II Congreso de Industrias Textiles celebrado en Sabadell el año 1933, una ponencia sobre este tema, que fué motivo de fuerte controversia por parte de las Compañías suministradoras de fluido, que se consideraban lesionadas en sus intereses, y trataron en vano de refutar nuestra sólida argumentación.

El tiempo se ha encargado de demostrar hasta la evidencia cuán acertadas eran nuestras previsiones, pues si bien últimamente las restricciones han obligado a muchos industriales instalar a toda prisa calderas y máquinas de vapor para resolver su problema de energía, por ser éstas y aquéllas de modelos anticuados, los resultados obtenidos han sido bien deficientes, y muy distintos hubieran sido éstos si se hubiese planteado el problema en debida forma y oportu-

tunamente, instalando calderas de presiones más elevadas y máquinas trabajando a contrapresión.

En sus aplicaciones industriales el vapor es empleado muy corrientemente en operaciones de concentración de disoluciones susceptibles de mejora al adoptar los sistemas de múltiple efecto o a base de termocompresión.

También su empleo es muy general para operaciones de secado que pueden mejorarse notablemente, sobre todo, cuando un calentador de aire permite prescindir totalmente del vapor, o bien adoptando un calentamiento escalonado del aire cuando se trata de secado a bajas temperaturas.

Consideramos también interesante poner sobre el tapete el problema de la calefacción de los edificios, en los cuales muchas veces se modera una temperatura excesiva, abriendo simplemente las ventanas, con el consiguiente derroche de calorías, fácilmente corregible con el simple empleo de un termostato.

No estará tampoco de más indicar igualmente el sistema ya iniciado hace años en algunas ciudades extranjeras de establecer un sistema de distribución urbana del servicio de calefacción, combinado con la producción de energía eléctrica, solución muy interesante si tenemos en cuenta que esta producción de energía se realizaría principalmente en invierno, cuando más elevado es el déficit de producción de energía.

Finalmente, no debemos olvidar el derroche de combustible que supone el consumo de los hogares domésticos, fácilmente corregible al sustituir el carbón por el gas, y de ahí el interés que presenta el desarrollo de la gasificación de los combustibles sólidos.

Con todo lo anteriormente manifestado no hemos agotado, ni con mucho, las posibilidades de aprovechamiento de la energía térmica, que son cada día más abundantes. Citaremos, por ejemplo, el empleo del agua sobrecalentada para la distribución de calor a distancia, el aprovechamiento del calor perdido en los motores de combustión interna, tanto de los gases como del agua de refrigeración; el empleo de la llamada bomba térmica para la calefacción, etcétera, y estamos convencidos de que, si cada uno de nosotros, dentro de sus actividades, analizáramos a fondo este problema, encontraríamos siempre algo que

modificar con vistas a un mayor aprovechamiento del combustible.

CONCLUSIONES

Por ser la energía térmica la más degradada de las formas de la energía, su estudio y sus aplicaciones requieren, por lo mismo, más atenciones, por lo que terminaremos insistiendo sobre dos puntos que consideramos fundamentales:

1.º La necesidad de ampliar en los planes de estudio de la carrera todo lo que hace referencia al estudio de la energía térmica y de sus aplicaciones.

2.º La conveniencia de que sea establecido, con carácter oficial, un organismo dedicado a los estu-

dios térmicos, con laboratorio y personal especializado para realizar toda clase de ensayos y determinación de rendimiento de calderas, hornos, etcétera, a la par que podrían organizar cursillos monográficos sobre los diferentes problemas de actualidad.

Confesamos sin ambages que precisamente la formulación de estas conclusiones han sido el motivo fundamental que nos ha impulsado a escribir la presente nota, sin duda de que encontraremos dentro de la comunidad de Ingenieros el calor necesario y suficiente para llevarlo a la práctica, con la seguridad de que los resultados que se obtendrían con las mismas justificarían con exceso los fines propuestos de economizar combustible.

Barcelona, marzo de 1950.

Terminada la exposición de este trabajo por su autor, pasa a leer el Sr. Borrás el que sigue:

N.º 117. - Aprovechamiento racional de los combustibles sólidos españoles

Autor: AGRUPACIÓN DE INGENIEROS INDUSTRIALES DE BARCELONA
(Sección Técnica de Química)

LEMA:

*La verdadera economía no consiste tanto en aborrazar
como en gastar bien.*

W. Stanley Jevons (1865)

I) PREÁMBULO

Si velar para que sean aprovechados con el máximo rendimiento los recursos naturales que Dios ha puesto a nuestro alcance, ha sido siempre un deber primordial para la Nación, en las difíciles circunstancias actuales por que atraviesa el mundo entero y las específicas derivadas de nuestra guerra, ha de constituir el principio básico rector de toda nuestra economía el logro de aquella finalidad.

A la falta de materias primas, a la penuria de divisas para el pago de los productos de importación, a las dificultades derivadas de la incertidumbre política del porvenir del mundo de la postguerra, etc., hay que responder *sacando el mejor partido posible de nuestras fuentes energéticas naturales*, salvaguardando los intereses generales de la colectividad en perfecta

armonía con la industria privada en un régimen de libertad económica y *con el decidido propósito de ir mejorando sin cesar y constantemente el rendimiento de utilización de las calorías disponibles*, pues de nada serviría el detenerse y dormirse sobre los laureles.

Esta política, que, indefectiblemente, reviste carácter social y humano, ha de permitir, no sólo hacer frente a las condiciones adversas actuales, sino que ha de hacer posible el futuro desarrollo industrial de la Nación, nivelar su balanza de pagos y, además, ha de asegurar la propia subsistencia e independencia en caso de conflicto armado.

Para ello hacen falta hombres capacitados y que, dotados de gran espíritu de empresa, tengan la debida noción del provecho para que todo aumento de consumo lleve aparejado reducción de precios, ya que

del valor de nuestra organización material y humana dependerá nuestra potencia económica del mañana.

Entre los combustibles sólidos, *el carbón es el más importante y conocido por todos, pero no solamente es un combustible, sino que por su composición especial, es una excelente materia prima para obtener combustibles.*

Si la siderurgia y, en general, la metalurgia y la fabricación del gas del alumbrado fueron las primeras aplicaciones para la utilización química del carbón, hoy día, con la transformación racional del mismo en combustibles líquidos y con la obtención de valiosas combinaciones que lo utilizan directamente como materia prima o mediante algunos de sus derivados en las síntesis industriales, se ha abierto una nueva era en la historia de la gran industria química orgánica pesada, cuyos verdaderos puntales son: carbón, aire y agua.

El actual Ministro de Obras Públicas, Excmo. señor don José María Fernández-Ladreda en la introducción de la obra de Roberto Wigniger *Carbón, aire y agua*, revisada y adaptada al caso de España por dicho señor, afirma:

«El carbón será cada vez menos un combustible de empleo directo y cada vez más una materia prima. La ejecución y el desarrollo de esta política corresponderá al espíritu de empresa, pero con la cooperación económica y desinteresada del Estado en aquellos puntos que afectan a la vida misma de la Nación. Nunca otra cosa el Estado que cooperador; la estatificación es siempre peligrosa, como asimismo lo es la excesiva dirección en la Economía para descender al detalle y a la minucia en la Administración.

Aun cuando en la época actual se intenta llamarla prematuramente la «era atómica», estamos sin duda alguna aún en la «era del carbón», a la que se le abren cada vez más vastos e infinitos horizontes de insospechados resultados. Son tales, que el eminente hombre de ciencia inglés Sir John Cadman afirma que *ahora se le presenta al carbón una oportunidad*. Oportunidad que también se le presenta a España, que disponiendo de una importante riqueza en carbones, tiene anticuada y paupérrima industria orgánica.

Para estudiar el aprovechamiento racional de nues-

tros combustibles sólidos, pasamos a detallar el plan que vamos a seguir:

1.º Hacer resaltar la importancia que dichos combustibles tienen para la economía española, concretándonos en el presente estudio a los carbones solamente.

2.º Analizar la producción de carbones en diferentes años, recalcando la ficción de muchas cifras que revelan señalado aumento, cuando en realidad una buena parte del mismo ha sido material estéril que ha ocasionado gran perjuicio a la economía del país.

Resumir el consumo de carbón por industrias, haciendo resaltar algunas de las principales anomalías al alcanzar valores específicos exagerados e injustificados.

3.º Distribución de los carbones según clase, tamaño, características, etc., etc., para que aquélla sea la adecuada. Necesidad de mejor selección y de más adecuada clasificación de los carbones, estudiando la gran ventaja que ofrecen las mezclas para sortear posibles escollos.

4.º Estudiar con detalles y precisión la mejor utilización de los carbones, con objeto de lograr la mayor eficiencia posible en cada una de las principales aplicaciones de aquéllos.

5.º Establecimiento de las consecuentes conclusiones que se deduzcan de lo expuesto y que permitan esbozar una serie de proposiciones concretas para el mejor logro del fin que nos proponemos.

II) IMPORTANCIA DEL CARBÓN EN LA ECONOMÍA DEL PAÍS

Ya en 1865, cuando hablaba del carbón W. Stanley Jevons, en su notable libro *The coal Question*, afirmaba:

«El carbón es un producto, no sólo comparable a los demás, sino superior a todos ellos. Es la fuente material de energía del país —la ayuda universal—, el factor de todo lo que hacemos. Con carbón, cualquier hazaña es posible o fácil; sin él, retrocederíamos a la trabajosa indigencia de los tiempos primeros... Los progresos de las ciencias, los adelantos de las artes, tienden a aumentar la supremacía del vapor y del carbón».

Esto se afirmaba hace unos ochenta y cinco años, cuando en ningún país del mundo se había alcanzado el nivel industrial actual a consecuencia del creciente desarrollo que ha experimentado la técnica, fruto de los constantes y crecientes adelantos de las ciencias. Hoy día, conserva aún todo su valor.

Las necesidades mundiales de energía del mundo moderno son aproximadamente del orden de 18.462 billones de calorías anuales, que quedan cubiertas en la forma siguiente:

	Billones de calorías	% del conjunto
1.º COMBUSTIBLES SÓLIDOS.		
Carbón, 1.300 millones de tons. a 7.500 cal/Kg.	9.750	53,0
Lignito, 258,7 millones de tons. a 4.000 cal/Kg.	1.035	5,6
Leña, 196,2 millones de tons. a 4.000 cal/Kg.	785	4,2
Turba, 20 millones de tons. a 4.000 cal/Kg.	80	0,4
	11.650	63,2
2.º COMBUSTIBLES SÓLIDOS.		
Petróleo, 510 millones de tons. a 10.000 cal/Kg.	5.100	27,6
3.º GASES NATURALES.		
Gas, 200.000 millones de m ³ a 8.000 cal/m ³	1.600	8,6
4.º ENERGÍA HIDRÁULICA.		
130.000 millones de Kwh. a 860 cal/kwh.	112	0,6
TOTAL	18.462	100,0

Continúan siendo, pues, en nuestros tiempos los combustibles sólidos, y especialmente el carbón, la fuente principal de energía para el conjunto del mundo; los siguen a bastante distancia los combustibles líquidos, los gases naturales, en mucha menor escala, y queda en último lugar la energía hidráulica.

Mientras las reservas de petróleo se calculan como muy limitadas y, dado el consumo cada día más creciente de sus derivados, se teme un agotamiento no muy lejano, afortunadamente las reservas de carbón son muy importantes. En el Congreso Internacional de Geología de 1913 se cifraron las reservas posibles y probables de carbones (incluyendo antracitas, carbones grasos y lignitos) en unos 7,5 billones de toneladas esparcidas por el globo (hasta una profundidad de 1.970 m.), que cubrirían las necesidades de carbón durante unos sesenta siglos a base del consu-

mo anual de unos 1.300 millones de toneladas. No hay ningún temor, pues, de un pronto agotamiento de los yacimientos de carbón que aseguran el aprovisionamiento del preciado combustible.

Sin prejuzgar sobre la vida más o menos efímera que pueda tener el petróleo, estamos plenamente convencidos de que el carbón se ha aprestado a la lucha con aquél y recuperará posiciones que parecían definitivamente perdidas, y entonces —como decía don Juan Sánchez Arboledas, Ingeniero de Minas— será justa la afirmación de que el reinado del carbón no ha terminado y que «su siglo cumbre está por venir».

Dichas reservas de carbón corresponden: el 6,75 por 100 para las antracitas (situadas en China principalmente), el 52,75 por 100 para los carbones grasos y el restante 40,50 por 100 para los semigrasos, de menor valor, incluidos los lignitos y carbones terciarios.

Están desigualmente distribuidas geográficamente, pues mientras el 69 por 100 de estas reservas se sitúan en América (casi por completo en la del Norte), se cifran 17,3 por 100 en Asia, atribuyéndose 10,5 por 100 en Europa, 2,4 por 100 en Oceanía y 0,8 por 100 en África. Es un hecho muy significativo que los dos Continentes tropicales: Sudamérica y África, estén prácticamente privados de cuencas carboníferas de importancia económica, por lo menos hasta el presente.

También en nuestro país los combustibles sólidos cubren la mayor parte de nuestro consumo energético. La participación de cada una de las fuentes de que se ha podido disponer no han variado sensiblemente, como puede verse en la comparación que sigue:

	Año 1935 % del conjunto	Año 1946 % del conjunto
1.º COMBUSTIBLES SÓLIDOS.		
Hulla, antracita y derivados	74,1	73,5
Leña y carbón vegetal	8,7	6,9
Lignito	2,1	5,5
2.º PETRÓLEO Y DERIVADOS (Importación)	11,4	9,4
3.º ENERGÍA HIDRÁULICA	3,7	4,7
	100,0	100,0
Total consumo de energía expresado en calorías ...	68,468 × 10 ¹²	84,755 × 10 ¹²

En España los combustibles sólidos cubren, pues, en cifras redondas, el 85 por 100 de nuestro consumo de energía (expresada en calorías), y es obvia la enorme importancia que tienen para la economía nacional. Merece especial atención, dentro de los combustibles sólidos, el carbón, que cubre el 74 por 100 del conjunto de las necesidades energéticas del país.

La producción de carbones representa más de 6.000 millones de pesetas anuales, teniendo en cuenta el precio del carbón, carga, transporte, descarga y acarreos hasta el lugar de consumo. Considerando que aproximadamente el 60 por 100 se transporta por vía marítima y el resto por ferrocarril, representa tener *empleados continuamente durante todo el año* unos 150 barcos de 3.000 toneladas cada uno y unos 15.000 vagones de 10 toneladas.

El carbón constituye, o bien la materia prima básica de las principales industrias —clave de nuestro país— o es la materia auxiliar para todas las restantes. Directa o indirectamente nuestra economía gira en torno del carbón. Como no disponemos en nuestro país de combustibles líquidos, faltos de divisas para la importación de los mismos, y con mayor motivo habremos de recurrir al carbón, fuente inagotable de insospechadas formas de energía.

En España, según las últimas estadísticas oficiales (año 1948), hay 550 Empresas, con un capital de casi 900 millones de pesetas, dedicadas a la extracción de carbón, que ocupan un total de 83.190 productores, y cuya distribución, según clases de carbón, se resume a continuación:

RESUMEN TOTAL DE PRODUCCIÓN DE CARBONES EN ESPAÑA (Año 1948)

Clase de carbón	Núm. de Empresas	Total toneladas año 1948	Núm. de productores	Jornadas de trabajo por año	Kgs carbón obrero y día
Antracita...	145	1.459.176	11.086	3.237.112	451
Hulla.....	208	8.964.313	59.615	17.407.580	515
Lignito.....	197	1.398.402	12.489	3.646.788	383
	550	11.821.891	83.190	24.291.480	487

Los combustibles sólidos, y principalmente los carbones, constituyen, pues, junto con el acero, la médula de nuestra economía patria, representando aquellos el órgano motor central de todas las activida-

des del país y el piñón de ataque que mueve el vasto y complicado engranaje de nuestra industria, que busca, día tras día, su mejoramiento y expansión, a pesar de las dificultades y circunstancias anormales en que se debate.

PRODUCCIÓN Y CONSUMO COMPARADO DE CARBÓN

En España se encuentran variadas clases de carbones, desde las antracitas a las hullas y a los lignitos. Entre las hullas hay yacimientos de hullas magras, secas de llama larga, grasas y semigrasas. Abundan los yacimientos de hullas secas y grasas de llama larga (hullas de gas), y en cambio escasean las grasas de llama corta (hullas de coque) y las hullas de vapor. España es relativamente rica en lignitos. Adjuntamos un mapa (Anejo núm. 1), en que se señalan los yacimientos de carbones más importantes de España.

La provincia más rica en antracitas es la de León (que produce un 58 por 100 del total). La sigue en importancia Oviedo (18 por 100) y Palencia (14 por 100). Se encuentran también en Córdoba (9 por 100) y existe un pequeño criadero en Huesca, que se está agotando.

La producción más abundante de hullas se obtiene en Asturias y representa el 66,8 por 100 de la producción total. Las siguen, León, en un 17 por 100; Ciudad Real (Puertollano), con 9,9 por 100; Palencia, con 2,5 por 100; Córdoba, con 2,1 por 100, y Sevilla, con 1,3 por 100.

La mitad aproximadamente de la hulla que se produce en Asturias es hulla de gas. La producción de hullas, con una proporción media de 26 por 100 de materias volátiles, es sólo el 14 por 100 de la producción media de Asturias, y la de carbones de menos de 20 por 100 y que no coquizan por sí solos, es de un 17 por 100.

Respecto a los lignitos, la producción máxima corresponde a la provincia de Teruel, con 34,2 por 100 sobre el total. La provincia de Barcelona sigue con 29,5 por 100; Lérida, con 12,7 por 100; Zaragoza, con 10,2 por 100; Baleares, con 6 por 100, y Huesca, Santander, Logroño, Coruña y Castellón, etc., aportan el resto.

Interesante sería el examen de la producción y consumo de los carbones minerales a lo largo del tiempo, pero, por lo que atañe a este estudio, se puede partir de principios del siglo XX, refiriéndose, como es natural, a España.

En el año 1900, en pleno apogeo de la máquina de vapor y de su influencia en la industrialización del país, y terminadas las guerras coloniales, entró España en un período de reconstrucción económica, y las nuevas industrias, en lugar de depender su emplazamiento de los posibles aprovechamientos hidráulicos, se instalaron en los principales centros comerciales y de comunicación. Como su fuerza motriz, en general, procede de máquinas de vapor, se incrementaron dos nuevos consumidores de carbón. El mercado de combustibles, además de la producción nacional, estaba abastecido con carbones ingleses que competían con los nacionales por ser de mejor calidad en composición, tamaños e incluso en los fletes, que, para algunos destinos, resultaban más económicos desde los puertos de embarque ingleses que desde los españoles.

De todas formas la producción española fué aumentando en el transcurso de los años, como puede verse detalladamente en los cuadros estadísticos (Anejo núm. 2) y en el gráfico (Anejo núm. 3) que se adjuntan, y que se han confeccionado con los valores publicados por el Ministerio de Industria y Comercio en las Memorias anuales tituladas «Estadística General de Producción, Importación y Distribución directa de Carbones Minerales».

Una ojeada a dicha estadística nos permite hacer resaltar los siguientes valores: Empieza en 1900 con una producción de 2.674.000 toneladas, alcanza en 1906, 3.397.838 y crece hasta el año 1909 con un total de 4.126.000 toneladas. Sufre alguna disminución en los años 1910 y 1911, para volver a tomar una tendencia fuertemente ascendente entre los años 1914 al 1918; fecha que exige un comentario por repercutir la influencia de la guerra europea. La campaña de torpedeamiento de los mercantes ingleses por las fuerzas navales alemanas dificultaron la llegada de carbones ingleses, por lo cual fueron aumentando de precio, seguro y flete. La demanda de carbones produjo también un aumento de precio en los carbones españoles y un incremento en el laboreo en las minas nacionales, que se refleja en la mencionada estadística

con el máximo de producción en 1918 de 7.238.550 toneladas.

Después de 1918, terminada la guerra, se produce una disminución en la producción nacional, que va de más de siete millones de toneladas en dicho año, a menos de cinco en el año 1922, debido a la crisis económica, malestar social e incertidumbre que dejó aquella guerra.

El interés nacional recomienda, en este momento, no abandonar a su suerte, cuando ésta les sea adversa, el laboreo de los carbones españoles, y se va perfilando una política de protección que culmina en el año 1926, en que se ordena el consumo obligatorio del carbón nacional (en totalidad o en los tantos por ciento que se determinan) a las empresas de servicios públicos y a las industrias protegidas, o sea industrias que se habían acogido a la protección del Estado.

Desde esta fecha la explotación de carbones minerales y su comercio tiene una clientela y unos precios de venta remuneradores asegurados que le permiten un desarrollo creciente a pesar de la competencia proveniente de la importación.

Las crisis, huelgas y vicisitudes, y después la guerra del 36 al 39, reducen la producción, llegando en el año 1937 a bajar hasta 2,5 millones de toneladas.

A partir de la liberación, vuelve a incrementarse la producción de carbones nacionales, llegando en 1940 a cerca de los 9,5 millones de toneladas y a 12 millones en 1946, si bien su contenido en humedad y principalmente en cenizas es muy superior al de antes de la guerra.

Con todo y una insistente política legislativa por parte del Gobierno para incrementar la producción de carbón mineral, principalmente hulla, no pueden abastecerse las necesidades de los consumidores. Excepto los lignitos, que se mantienen en régimen de venta libre, las hullas y antracitas se venden a precios de tasa, y las hullas se distribuyen por cupos a las diversas industrias, lo que reduce mucho su capacidad de producción. El carbón nacional obtenido en 1946 no ha podido ser rebasado, ni en 1947, que fué de 11.764.000 toneladas, ni en 1948, con toneladas 11.822.000, ni en 1949, en que, según datos que se han anticipado, parece que se alcanzan 11.964.000 toneladas. No obstante, la cantidad de humedad extraída es posible que supere a la de 1946.

Entre la gran necesidad de carbones, la que se acentúa es la de hullas, y entre éstas, las de vapor, y para obtención de coque metalúrgico, por lo cual las importaciones, cuando se pueden permitir, se ciñen a carbón de vapor y coque metalúrgico.

El lignito tiene sus épocas de intensificación de laboreo, siempre que el consumo sufre la penuria de poder abastecerse de mejores carbones. Las cantidades de antracita, hulla y lignito producidas en España, valoradas en tantos por ciento de la producción total en los años que se mencionan a continuación, han sido las siguientes:

Años	Antracita	Hulla	Lignito
1907	4,22	90,80	4,98
1917	5,40	84,—	10,60
1927	6,14	87,72	6,14
1937	15,73	72,62	11,65
1947	12,16	77,—	10,84

La explotación y depuración de los carbones españoles presenta en ciertos casos algunas dificultades. Una desgraciada característica de nuestros yacimientos es la elevada producción de menudos respecto a los tamaños superiores. Todo ello influye en que el rendimiento económico de las explotaciones no resulte similar al de minas extranjeras y no se preste la debida atención que se debe a su adecuada depuración.

Esta deficiencia en la depuración se ha acentuado en los últimos años, debido a la demanda de carbones y a la falta de competencia comercial. Naturalmente, se ha procurado aumentar las toneladas vendidas, sin atender a las calidades, y el aumento sufrido ha sido, en parte, ficticio, ya que la proporción de cenizas y humedad de los carbones ha sido muy superior a la de los suministrados en 1935.

Como muy acertadamente decía nuestro ilustre compañero, Director general de Industrias, don Alejandro Suárez y Fernández Pello, en la interesante conferencia pronunciada con motivo de las primeras Jornadas de Ingeniería Industrial de Barcelona:

«Las estadísticas de producción de carbón, medidas en toneladas, revelan, como hemos visto, un aumento notable que no corresponde, desgraciadamente, con el valor en uso de dichos combustibles, ya que como técnicos sabemos que lo que interesa son las calorías y no precisamente las toneladas». Y más adelante añadía:

«Si para tomar cifras moderadas, calculamos en 15 por 100 la baja de disponibilidad de calor en las hullas, y sólo un 7,5 por 100 en las antracitas —me refiero no sólo a una baja real en el valor calorías, sino de rendimiento por el uso inadecuado—, encontraremos que la utilidad de nuestros combustibles, comparada en 1929 y 1946, reducida a calorías, sería la siguiente:

Años	Millones toneladas	Por 100	Calorías por 100 ^g	Por 100
1929	9,630	100	66.835	100
1946	12,160	126	68 908	103,6

datos que explican, mejor que las cifras gravimétricas, la actual penuria de combustibles y la importancia de orientar una política del carbón para tratar de mejorar calidades y un uso racional de combustibles adecuado a cada caso».

La ficción de los aumentos aparentes de producción han ocasionado evidentemente grandes perjuicios al consumidor, a la producción industrial y a la economía del país. Acertadamente el Ministerio de Industria y Comercio ha creado en reciente disposición el «Servicio de Inspección de Calidades y Aumento de Producción de Carbones», con la misión de velar para conseguir este fin. Es de esperar que el nuevo organismo logre la finalidad para la que ha sido creado y mejore ese importantísimo aspecto de la producción carbonera.

Pero sería conveniente que al mismo tiempo se den el máximo de facilidades y de protección a las Empresas mineras a fin de estimular sus ampliaciones y la modernización de sus instalaciones, facilitando que sus inversiones de capitales sean remuneradoras.

* * *

Al estudiar la importación de carbones en las estadísticas se encuentra separado el que entró para el consumo en la Península y Baleares, del que se destinó a los Depósitos francos y flotantes, a Canarias y al Norte de África, dando en conjunto el total de carbón recibido procedente del extranjero. Finalmente, se acostumbra a indicar el tanto por ciento que

representa respecto a la producción de hulla y antracita nacionales.

Los datos estadísticos de importación de carbones que se detallan en los Anejos núms. 4 y 5 proceden, en cuanto a los años 1900 a 1928, de los publicados en el *Anuario Financiero* (págs. 98 y 99 del año 1919, y págs. 1451 y 1452 del año 1947-48), y desde 1929 en adelante son de estadísticas oficiales publicadas por el Ministerio de Industria y Comercio, por lo cual los resumimos en cuadros separados.

Con los anteriores datos se ha trazado un gráfico de Importación de Carbones que se adjunta (Anejo núm. 6), para dar idea concreta de la misma. De su examen podemos hacer resaltar que de 1900 a 1913 la importación de carbones pasa de 2 a 3 millones de toneladas en cifras redondas, y que cayó durante la guerra europea a cerca de 500.000 toneladas en el año 1918, para ir ascendiendo en años sucesivos, y sobrepasar los 2 millones en los años 1927 a 1930, para descender a cerca de 1,5 millones en los años 32 y 33. Entre los años 1929 a 1935 la relación entre los carbones importados y la producción nacional de hulla y antracita oscila entre un 21 y un 33 por 100.

Nuestra guerra de liberación, la penuria posterior de divisas y el afán de que se consuma carbón nacional, limitan la importación de carbones a valores que en cifras redondas oscilan entre las 90.000 y las 305.000 toneladas anuales. Se ha llegado a un millón en el año 1948.

* * *

Las disponibilidades anuales de carbones, que nos darán idea del consumo, se componen de la producción nacional más la importación (suponiendo sin error sensible que la exportación sea nula). La producción, según los datos estadísticos que se han tomado (Anejo núm. 2), se refiere a antracita, hulla y lignito, y la importación comprende además el coque (Anejo núm. 5). Las cantidades anuales de carbón disponibles en toneladas han sido:

Años	Producción	Importación	Total
1900	2.674.105	2.000.000	4.674.105
1910	4.058.000	2.315.874	6.373.874
1920	5.974.129	500.000	6.474.129
1930	7.562.133	2.371.426	9.933.559
1940	9.430.971	302.420	9.733.391
1948	11.821.891	1.014.734	12.836.625

Para formarse idea de estas disponibilidades (consumos) de combustibles registradas en España, hay que distinguir entre consumo real, como a consecuencia de las disponibilidades que ofrecen la producción y la importación, y el consumo potencial que se produciría, caso de poderse disponer de existencias suficientes a la demanda de los consumidores. Hemos de suponer que antes del 1936, entre la explotación de las minas nacionales y el comercio de importación de carbón extranjero, se ponía a disposición de los consumidores las cantidades y calidades que eran necesarias, ya que no existían, como ahora, restricciones sobre el consumo de carbón. De aquí que, al examinar los datos oficiales del consumo de combustibles en los años 1939 y siguientes, no podamos tomarlos en el sentido de potencialidad de consumo del país, sino que, si pudiésemos valorar cuál hubiese sido el consumo potencial, dividiendo el consumo real por el consumo potencial, nos daría idea de la restricción del consumo por falta de abastecimiento.

Punto de partida para dilucidar el consumo potencial de España lo puede suministrar el estudio de su población. En el cuadro siguiente se indica la población de hecho de España, comprendiendo la Península, Islas adyacentes y Posesiones del Norte y Occidente de África.

Población de hecho de España, Islas adyacentes y Posesiones Norte y Occidente de África.

Años	Habitantes
1900	18.618.086
1910	19.995.686
1920	21.389.842
1930	23.677.794
1940	26.015.907
1948	27.924.423

Del consumo (suma de producción e importación) de carbones en España en los diferentes años se puede deducir el consumo de combustibles en toneladas-año por habitante, para compararlo con los consumos anuales en diversas naciones. Estos consumos para España han sido:

Año 1900	$\frac{4.674.105}{18.618.086}$	= 0,251 tons. por habitante y año.
" 1910	$\frac{6.373.874}{19.995.686}$	= 0,319 " " " "

" 1920	$\frac{6.474.129}{21.389.842}$	= 0,303 tons. por habitante y año.
" 1930	$\frac{9.933.559}{23.677.794}$	= 0,421 " " " "
" 1940	$\frac{9.733.791}{26.015.907}$	= 0,374 " " " "
" 1948	$\frac{12.836.625}{27.924.423}$	= 0,460 " " " "

Para ver lo restringidos que resultan los consumos específicos posteriores a 1930, se puede recurrir al documentadísimo discurso del señor Ministro de Industria y Comercio, Excmo. Sr. Suanzes, pronunciado en Madrid el 1.º de junio de 1943, como Presidente del Instituto Nacional de Industria, en el que se concreta la obra que ha de ejecutar esta empresa. A continuación se copian dos párrafos del capítulo encabezado con el título de «Combustibles sólidos. Incremento y racionalización de la producción»:

«Ya hemos visto que, como mínimo, nos faltan 500.000 toneladas de hulla, en valor relativo, para disfrutar de iguales disponibilidades que el año 1929. Ahora bien: el ritmo normal de incremento en el consumo de carbón en el país en los tres primeros decenios del siglo, eliminando puntas y tomando la línea media, ha sido, respectivamente, de 1.100.000, de 1.400.000 y de 1.800.000 toneladas por decenio. Al de 1930-1940 le hubiera correspondido, según esta ley, bastante normal a lo largo del tiempo, 2.200.000 toneladas.»

«Sumando las tres clases de carbón, la demanda total del mercado nacional en el año 1950 debería ser de 18.900.000 toneladas. ¿Parece excesiva? Pues bien, representa un consumo de 0,7 toneladas por cabeza y año; igual al de Polonia y Austria en 1936; menos de la mitad que el francés, checo, holandés, austriaco o sudafricano en la misma fecha, y quinta parte del belga.»

El consumo potencial de carbón en España es, pues, muy superior al consumo real en estos últimos años, y ha sido preciso imponer restricciones a los consumidores de hulla (que es la clase deficitaria), de acuerdo con las disponibilidades de la producción nacional y de la importación. El organismo encargado de esta misión ha sido la «Comisión Reguladora para la

Distribución del Carbón», creada al efecto por el Ministerio de Industria y Comercio.

Para dar idea de los consumos de carbón en los diferentes sectores industriales, detallamos a continuación las cantidades consumidas (ordenadas de mayor a menor) en los años 1948 (últimas estadísticas oficiales publicadas) y en 1935, así como sus números índice, tomando 100 para el año 1935.

CONSUMO COMPARADO DE CARBONES MINERALES

Comprende antracita, hulla, lignito y aglomerados nacionales y extranjeros y coque metalúrgico extranjero

INDUSTRIAS	Año 1935 (Número índice = 100) Toneladas	Año 1948	
		Toneladas	Número índice
Ferrocarriles.....	2.103.179	2.092.080	147
Siderúrgicas y coquerías anexas.....	961.677	1.613.821	168
Usos domésticos.....	1.021.732	1.480.775	145
Centrales eléctricas....	311.245	1.182.554	380
Cementos.....	395.362	716.930	181
Marina Mercante.....	198.236	556.204	281
Minería.....	254.839	450.177	177
Textil.....	232.847	426.962	183
Flota pesquera.....	243.498	379.117	156
Azucarera.....	282.599	335.062	114
Química.....	154.445	297.790	128
Fábricas de Gas.....	432.975	319.870	74
Cerámica.....	77.143	306.204	397
Coquerías.....	119.571	243.562	204
Papelera	128.364	217.300	169
Varias.....	55.720	171.666	308
Fund. Constr. Met. y Metalist	55.619	116.757	210
Metalúrgicas.....	88.046	103.299	117
Vidriera.....	85.423	103.194	121
Marina de Guerra.....	—	62.928	—
Obras Públicas.....	30.484	60.688	199
Cales y Yesos.....	3.639	39.100	1.075
Explosivos.....	8.345	29.697	356
Alcoholera.....	5.610	25.413	453
Dest. mad. y alquitr....	3.599	22.152	616
Cervecería.....	14.084	15.786	112
Cables y alambres.....	3.987	6.943	174
Petróleos y derivados..	563	865	154
	7.272.871	12.376.996	169

De las Estadísticas Generales de consumo de carbones publicadas por el Ministerio de Industria y Comercio.

No aspiramos a realizar un estudio crítico de estos consumos, pero tenemos que hacer resaltar algunas anomalías.

En primer lugar, comparando los índices de consumo de las distintas industrias con el del total, se observa que en algunas de ellas dichos índices son

muy superiores, en otras se mantienen sensiblemente igual y, por fin, otras tienen un índice inferior al del citado consumo total.

Esta anomalía —que tiene su justificación en algunos casos para atender con preferencia necesidades insoslayables y perentorias del país, y en otras, por la disminución en las calidades del carbón— es sorprendente en el caso de las fábricas de gas. Esta industria, que, como Aglomerados y Coquerías, no es consumidora de combustible, sino que los transforma devolviendo al mercado nuevos productos combustibles, cuyos rendimientos de utilización resultan mucho más elevados que los conseguidos directamente con el carbón de que proceden (según la finalidad a que se les destine), es la *única industria* que, incomprensiblemente, no sólo no ha disfrutado de los aumentos proporcionados a las restantes, sino que, *debido a los restringidos cupos de carbón asignado*, ha dispuesto de cantidades inferiores a las del año 1935.

Hemos de hacer resaltar que la industria del gas, junto con las coquerías, constituyen las industrias que trabajan con una eficiencia técnica más elevada, y que es considerada en todas partes como *una de las industrias básicas* de la economía del país, por lo cual gozan fundadamente de preferencia en la distribución de carbón, aun en detrimento de otras actividades industriales.

En segundo lugar, examinando la eficiencia térmica de los principales consumidores de carbón, tendremos:

SIDERÚRGICAS.

Copiamos a continuación un cuadro (1), en que se comparan los consumos de carbón y los laminados obtenidos para calcular los kilogramos de carbón necesarios por tonelada de laminados.

Año	Carbón consumido. Toneladas	Índice	Laminados. Toneladas	Índice	Kgs. de carbón consumido por tonelada de laminados	Índice
1929	1.771.534	100	753.448	100	2.360	100
1935	1.391.806	78,5	440.677	58,4	3.130	128
1940	1.495.333	84,3	592.349	78,5	2.530	107
1946	1.506.784	85	418.204	55,5	3.600	153
1947	1.546.523	87,8	379.016	50,5	4.060	172

(1) De la revista *Dyna*, pág. 323. Julio 1948.

FERROCARRILES.

El consumo específico de carbón por tonelada-kilómetro remolcada, que en el año 1935 era de 85,7 gramos por Tn/km., pasó a ser de 113 grs. por Tn/km. en 1942, subió a 119 grs. en 1946, y parece ser que se han llegado a alcanzar valores de 122 gramos por Tn/km.

CENTRALES ELÉCTRICAS.

Los consumos de carbón de las centrales térmicas de producción de energía eléctrica eran, en el año 1935, del orden de 0,99 grs. por Kw/h. producido, mientras que actualmente son del orden de 1,27 gramos por Kw/h., justifica dicho aumento la necesidad de poner en servicio centrales anticuadas.

Estos aumentos en los consumos específicos de carbón o baja eficiencia térmica no encuentran su justificación en la baja de calidad de los carbones empleados —con ser éste un factor muy importante—, sino que obedece a causas complejas que en nuestro estudio no aspiramos a dilucidar, limitándonos solamente a exponerlas.

A consecuencia de este *deficiente aprovechamiento del carbón*, nuestras disponibilidades han quedado mermadas en estos diez años últimos, con los consiguientes perjuicios para la economía y desarrollo del país, cuyas necesidades para el año en curso las ciframos en unos 19.000.000 de toneladas de carbón (0,7 ton/año/habitante), y que desgraciadamente no dispondremos. Ante tal estado de cosas se impone necesariamente *reducir el consumo*, en todo lo posible, *mediante el aprovechamiento racional del carbón*. Mientras subsista el actual desequilibrio entre la producción y el consumo de carbón, debería procederse a su distribución dando preferencia —salvo en contados casos de necesidad nacional— a las industrias que trabajan con mayor eficiencia térmica.

CLASIFICACIÓN, PREPARACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ADECUADA DE LAS DIVERSAS CLASES DE CARBÓN

Para conseguir un aprovechamiento racional de los carbones españoles, es necesario, en primer lugar, clasificar bien las distintas clases que se producen en Es-

paña, a fin de que los consumidores puedan fácilmente conocer sus propiedades y principales aplicaciones con sólo la denominación, grupo, especie, etc., asignado a cada clase.

Es preciso después que estos carbones estén convenientemente preparados, es decir: bien lavados, con el mínimo de cenizas y humedad posible y bien separados por tamaños. La preparación comprende, además, la trituración e instalaciones de mezclas, así como la aglomeración o briqueteado.

Finalmente, es condición indispensable *utilizar cada clase de carbón en el fin adecuado a sus características.*

Entre los variados tipos de carbones que se producen en España, los hay de características y propiedades bien definidas que reúnen las máximas cualidades para ser empleados en determinados hogares, hornos o industrias. Estos carbones no deberían ser utilizados más que en aquellas aplicaciones para los que son apropiados.

Existen otros tipos de carbones, de características no tan adecuadas, que pueden emplearse con resultados satisfactorios en diferentes usos, tomando en cada cual las precauciones elementales que aconseja la técnica.

Otros, en fin, deben utilizarse en aplicaciones distintas de aquéllas para las que reúnen las máximas cualidades, cuando, a falta de carbones más idóneos, no hay más remedio que recurrir a ellos.

Afortunadamente, gracias a los continuos progresos de la técnica industrial, es posible extender considerablemente las gamas de carbones utilizables para determinada finalidad, bien *preparando aquéllos convenientemente*, bien *adaptando las instalaciones en que deban emplearse o quemarse.*

Dedicaremos este capítulo a la preparación y distribución de los carbones cuyas características responden al fin a que se los destina y trataremos en el próximo capítulo de la técnica aconsejable para la mejor utilización de nuestros carbones, aún empleados en fines diferentes a sus características.

Lo primero que se encuentra que falta en España para conseguir una preparación y distribución adecuada es una clasificación comercial práctica, como existe en otros países del extranjero. En Alemania e Inglaterra y, sobre todo, en Polonia, tienen clasificados sus carbones por grupos de propiedades físi-

cas y químicas comunes, con indicación de su apropiada aplicación industrial.

Las clasificaciones corrientemente conocidas de Grüner o Seyler; la introducida por el ilustre Ingeniero de Minas don Luis de Adaro; la propuesta más tarde por el distinguido Ingeniero Industrial don Juan Castillo, así como la adoptada en las estadísticas oficiales del Ministerio de Industria y Comercio, no son actualmente suficientes para las necesidades de un mercado tan variado como el del carbón, por la diversidad y complejidad de sus aplicaciones.

Convendría hacer una clasificación en grandes grupos, atendiendo a sus propiedades principales comunes, dividiendo cada grupo en varias categorías, según sus características peculiares y sus aplicaciones industriales, subdividiendo cada categoría según su contenido en cenizas, fusibilidad de éstas, contenido en azufre, potencia e índice calorífico y según tamaños.

El organismo más adecuado para realizar esta labor de clasificación podría ser el «Instituto del Carbón», creado en Oviedo por el ilustre Profesor Alvarez Buylla.

Una vez establecida la clasificación, debería encuadrarse obligatoriamente cada mina y cada capa de carbón en los grupos y categorías correspondientes, a fin de que sean conocidos y ofrecidos en el mercado por su verdadera clasificación, acompañados del nombre de la Entidad propietaria de la mina y de su procedencia.

Con referencia a la preparación de los carbones, es necesario proceder a cuidada depuración, mejorando las instalaciones de lavado y clasificación por tamaños, reduciendo al mínimo económicamente aconsejable desde el punto de vista nacional, el contenido en cenizas de los carbones distribuidos, tanto para evitar los inútiles, costosos y perturbadores transportes de materias inertes, como para mejorar sensiblemente la eficiencia en las instalaciones de utilización. Con los modernos sistemas de «rheo»-lavadores y los lavados en medio denso se preparan actualmente en Europa carbones con muy bajos contenidos en ceniza. En el Ruhr, en la mina «Carl Alexander», por ejemplo, ha llegado a prepararse por flotación de espuma y subsiguiente tratamiento por extracción ácida (para separar las impurezas solubles) un carbón conteniendo 0,5 por 100 de cenizas. Este carbón, des-

pués de carbonizado en hornos de coque, se utiliza para la preparación de electrodos, en substitución del coque de brea o de petróleo.

También es interesantísimo la preparación de briquetas y de aglomerados y la de mezclas. Tanto en la tracción a vapor de los ferrocarriles, en los generadores de vapor fijos, como en las coquerías y en el consumo doméstico, es de capital importancia la preparación de mezclas o aglomerados. Esta técnica ha llegado a adquirir en el extranjero tanto desarrollo, que, además de utilizarse corrientemente en las instalaciones industriales de cierta importancia, se ofrecen al mercado mezclas y aglomerados de características constantes que, por su composición, compiten o sobrepasan las cualidades de carbones que sin mezclar ofrecen características apropiadas para una determinada aplicación.

Las modernas instalaciones de depuración, aglomeración, cocción y semi-carbonización, y sobre todo las de preparación de mezclas, han permitido utilizar carbones que hasta hace poco eran considerados como inadecuados, corrigiendo, en algunos casos, defectos que impedían su buena utilización.

Una vez lograda una cuidada clasificación y preparación será fácil obtener una adecuada distribución, pero es, además, necesario para la economía general del país que en aquellos casos en que la intervención del Estado sea necesaria en la distribución, se tenga muy en cuenta las cualidades del carbón que se distribuye a cada rama industrial, evitando en lo posible destinar un carbón no apropiado para ella y en cambio establecer una preferencia (salvo casos de marcada necesidad nacional) *a aquellas industrias e instalaciones que lo utilicen con mayor eficiencia.*

De manera general, las principales características que deben reunir los carbones (aparte del tamaño) para su empleo con determinada finalidad, son las siguientes:

a) *Carbones para producción de vapor.*—Los utilizados primitivamente en la producción de vapor se exigía correspondiesen a carbones magros o semi-grasos no coquizables, de proporción de materias volátiles, comprendidas entre 10 y 23 por 100, de baja proporción de azufre, alta fusibilidad de cenizas y elevada potencia calorífica. Estos carbones, llamados «de vapor», continúan siendo los más apropiados

para los hogares corrientes de las calderas. Sin embargo, con el desarrollo del tiro forzado, de los emparrillados mecánicos y el empleo del carbón pulverizado, la gama de carbones utilizables en las modernas instalaciones se ha extendido considerablemente, y puede decirse que, salvo en contadísimos casos, todos los tipos de carbones pueden emplearse adaptando convenientemente los hogares, cámaras de combustión y parrillas.

Sin embargo, en general, para hogares cargados a mano y en calderas de hogar interior, son indicados los carbones de pocas materias volátiles.

En el caso de hogar interior en los que la distancia entre la parrilla y el techo del hogar es bastante grande (caso de las locomotoras y locomóviles) es aconsejable un carbón de 16 a 20 por 100 de materias volátiles, con pocas cenizas e infusibles hasta 1.250° C.

Para quemar en estos hogares carbones menudos, magros o antracitas deben proveerse dispositivos especiales. También hay que tomar determinadas disposiciones para quemar los carbones grasos de alta proporción de volátiles.

En calderas con hogares exteriores no hay inconveniente (tomando precauciones elementales) en emplear carbones relativamente ricos en materias volátiles. Los carbones de alto contenido en materias volátiles y los lignitos las desprenden rápidamente, mientras la temperatura de la capa de carbón es relativamente baja, y propende a la formación de humos, por lo que convendrá la adición apropiada de aire secundario, dimensiones apropiadas de la cámara de combustión y cierta turbulencia.

Los carbones de menor contenido de materias volátiles desprenden éstas más lentamente, con lo que la combustión es más regular y permiten mantener el suministro de aire apropiada, con producción de llamas más calientes y más elevada temperatura de la capa incandescente.

La excesiva temperatura de la capa de carbón puede producir perjuicios a la parrilla y al material refractario.

Respecto al contenido de cenizas y a la fusibilidad de éstas, conviene que el primero no sea elevado ni demasiado baja la segunda. Deben tomarse precauciones especiales en estos casos. Una proporción de

cenizas exagerada 35 a 40 por 100 puede llegar a hacer prohibitivo el empleo del carbón.

b) *Carbones para coquerías.* — La característica esencial que deben reunir estos carbones es la de producir un coque compacto y duro apropiado para usos metalúrgicos. Los carbones más indicados para ello son los grasos de llama corta que reúnen fuerte poder de coquización junto a relativamente baja proporción de materias volátiles (18-26 por 100). Como las reservas de estos carbones acostumbran a ser exiguas en muchos países, actualmente se recurre a las mezclas heterogéneas cuidadosamente estudiadas de distintos carbones considerados, cada uno de ellos independientemente, como no adecuados para la fabricación de coque metalúrgico, pero cuya mezcla resulta apropiada para producir un coque de excelente calidad.

Los carbones empleados en estas mezclas incluyen los carbones de mayor proporción de volátiles, conocidos con el nombre de «carbones de gas», y los empleados para otros menesteres a los que se les añaden desgrasantes, como polvo de coque o semi-coque y otros carbones que corrijan los defectos que aquéllos tienen al emplearse solos.

La antigua denominación de «carbones de coque» está siendo, pues, cada día menos adecuada.

El coque utilizado para usos metalúrgicos debe ser de bajo contenido en azufre y fósforo. También es necesario que su contenido en cenizas sea relativamente bajo.

c) *Carbón para fábricas de gas.* — Los carbones más apropiados son los denominados grasos de llama larga, que deben contener un elevado porcentaje de materias volátiles (32 a 40 por 100) y al mismo tiempo producir un buen coque.

La proporción de cenizas es conveniente que oscile entre 4 y 10 por 100 como máximo, ya que si se sobrepasa, el coque producido no sería utilizable eficientemente.

d) *Carbones para otras aplicaciones industriales.* — En los diferentes tipos de hornos, gasógenos y hogares empleados en la industria, la clase, forma y dimensiones de aquéllos determinan las características de los carbones que se deben emplear en cada caso. En general, en los hornos de reverbero los carbones no coquizables con elevada proporción de materias volátiles (40 a 45 por 100) son los más indicados.

Cuando se deseen obtener altas temperaturas loca-

lizadas en puntos determinados, son preferibles carbones de menos volátiles (30-35 por 100), aunque éstos requieran mayor tiro.

Para los gasógenos industriales, el mejor carbón (aparte del coque) es el carbón magro o semi-magro no deleznable. No obstante, existen gasógenos especiales que permiten gasificar, con buen resultado, antracitas, carbones bituminosos, lignitos y carbonilla fina de coque. Es importante en general que la temperatura de fusión de las cenizas sea elevada (excepto en los gasógenos de fusión de escorias) y que el contenido de aquéllas no sea exageradamente alto.

e) *Carbones para calefacción y usos domésticos.* — En estas aplicaciones son indicadas las antracitas que no producen humo, tienen elevada potencia calorífica y desprenden gran cantidad de calor por radiación. Es particularmente interesante en las grandes ciudades, e incluso en las de mediana importancia, el empleo de carbones que no produzcan humos ni neblinas de polvo, tan molestos y perjudiciales para la salud. En el extranjero se ha llegado a prohibir o reglamentar el uso de ciertos carbones.

Naturalmente, además de las antracitas, son indicadísimos los combustibles preparados, tales como el coque de las fábricas de gas, el semi-coque, las antracitas artificiales y los aglomerados cocidos, aunque el combustible ideal para estos casos es el gas (producto de la carbonización de la hulla).

UTILIZACIÓN RACIONAL DE LOS CARBONES ESPAÑOLES

En España, como hemos dicho, se encuentran diversas clases de carbón, desde los de formación más antigua (antracitas), hasta los de formación reciente (lignitos y turbas). Abundan especialmente las hullas grasas y secas, de elevada proporción de materias volátiles, y los lignitos. Escasean, en cambio, las hullas grasas de proporción de volátiles comprendidas entre 18 y 26 por 100 (hullas de coque) y las semi-grasas o magras, no coquizables, de proporción de volátiles comprendida entre 10 y 18 por 100 (hullas de vapor).

Una desgraciada característica de nuestra explotación carbonera es el elevado costo de producción —motivado por la índole de los yacimientos— y la abundante producción de menudos.

Debemos, pues, con mayor razón que en otros países, sacar el mayor provecho posible de nuestras riquezas, buscando la manera de utilizar los carbones con la máxima eficiencia, para cubrir nuestras necesidades.

Los principios en que debe basarse el aprovechamiento racional de la producción carbonera —una vez conseguida la máxima depuración y perfectas preparación y clasificación—, serán los siguientes:

1.º Consumir preferentemente cada clase de carbón en fin adecuado a sus características.

2.º Revalorizar nuestra abundante producción de menudos por aglomeración, carbonización o semi-carbonización.

3.º Preparar científica y técnicamente las mezclas de carbones en instalaciones adecuadas para sustituir los tipos de carbones cuyos yacimientos escaseen en nuestro país, y que son necesarios para las coquerías siderúrgicas, ferrocarriles e instalaciones generadoras de vapor fijas.

4.º Aprovechar los combustibles pobres, preparándolos y utilizándolos convenientemente.

5.º Adaptar los hogares, parrillas e instalaciones de utilización, a los tipos y tamaños de carbones que abundan en España, mejorar los rendimientos térmicos por una explotación más racional y modernizar las instalaciones anticuadas.

6.º Reducir las pérdidas de calor y utilizar el calor recuperable para fines de caldeo y para la producción de fuerza motriz.

* * *

En el capítulo anterior hemos expuesto las normas generales para conseguir lo indicado en el apartado 1). Vamos a hacer breve comentario a los demás apartados.

REVALORIZACIÓN DE LOS MENUDOS.—La mejor manera de conseguirla, es por aglomeración o carbonización.

Tanto si se refiere a menudos magros o antracitosos, como a hullas grasas, semi-grasas y lignitos, siguiendo dicha técnica se conseguirá convertir los menudos en carbones de mayor tamaño y proporcionar combustibles de mejores calidades.

Por carbonización a baja temperatura de menudos

de antracita y magros no coquizables, aglomerados con un 7,5 a 8 por 100 de brea, se obtiene un carbón de mayor tamaño, que ha recibido el nombre de «antracita artificial», y que es un combustible de características similares a las antracitas, que arde fácilmente sin humo, se comporta bien en el fuego del hogar y, una vez alcanzada la temperatura de inflamación, desprende por radiación una cantidad de calor notablemente superior a los carbones crudos de que procede.

Por aglomeración a presión, sin cocción, y por auto-aglomeración a temperatura conveniente, se preparan briquetas de carbones semi-grasos y magros apropiados para ferrocarriles y determinados hogares industriales.

También por carbonización a baja temperatura de briquetas de lignito —aglomeradas por simple presión, como puede conseguirse con los lignitos de Galicia de propiedades parecidas a los «brown-kohle» alemanes o aglomerados con brea para los lignitos de Teruel, Cataluña y Aragón— pueden prepararse excelentes aglomerados, de semi-coque, para uso doméstico o industrial, recogiendo además alquitrán primario y azufre o compuestos sulfurados, de múltiples aplicaciones industriales.

Pero en donde la carbonización encuentra su mayor aplicación y eficiencia para el aprovechamiento racional de menudos es en el caso de hullas grasas. Tanto las coquerías como las fábricas de gas transforman estos carbones en nuevos productos de combustibles de más apreciadas cualidades que proporcionan en su utilización íntegra y racional un efecto térmico útil para el consumidor superior al del combustible primitivo de que proceden. Deberá, pues, destinarse a estas industrias todo el carbón que necesitan, aun en perjuicio de otras que no lo utilicen tan eficientemente. Debe tenerse presente que estas industrias, como ya dijimos, no son consumidoras de carbón, sino que lo transforman, devolviendo al mercado nuevos combustibles de mejores calidades.

Deberían, no obstante, excluir de esta preferencia a aquellas industrias de carbonización —como algunas coquerías no siderúrgicas— que no utilicen íntegramente sus excedentes de gas o calor, en las que su eficiencia térmica es baja y, sobre todo, perseguir la obtención del llamado *coque de pila*.

La carbonización proporciona, además del gas, una serie de subproductos de inestimable valor: coque, alquitranes, azufre, naftalina, sulfato amónico, bencoles, etc., etc., y brea. Como que la brea producida en España no es suficiente, por ahora, para cubrir nuestras necesidades, debe importarse del extranjero la que sea precisa, en beneficio de la revalorización de los menudos, mientras no se proceda a la auto-aglomeración de una manera eficaz.

De la gasificación y destilación de los productos derivados de la carbonización se obtienen gases para síntesis, hidrógeno, lubricantes, carburantes sintéticos y un sin fin de productos para la industria química de colorantes y preparados farmacéuticos.

PREPARACIÓN DE MEZCLAS.—Puesto que en nuestro país no se producen suficientes cantidades de hullas de coque y de vapor para atender a las necesidades de las siderúrgicas, de ferrocarriles y de los generadores de vapor fijos, deben mezclarse los tipos convenientes en cada caso, mediante mezclas apropiadas.

Esta técnica, tan extendida en el extranjero, permite la preparación de mezclas adecuadas para la fabricación de un buen coque metalúrgico, duro, compacto y denso, partiendo de carbones que por sí solos no producen coques de estas cualidades. Podrían obtenerse en nuestro caso resultados satisfactorios, por mezcla íntima, en las proporciones adecuadas, de carbones grasos de alto poder de coquización, pero de demasiada proporción de volátiles —abundantes en España— con desgrasantes como polvo de coque, semi-coque o hullas semi-grasas.

Estas mezclas deben prepararse cuidadosamente según los resultados de indicaciones científicas sancionadas experimentalmente y no obedecer a fórmulas más o menos empíricas.

También para los generadores de vapor móviles (ferrocarriles) o fijos (instalaciones industriales) pueden prepararse mezclas apropiadas que substituyan la escasez de hulla de vapor. Coordinando la preparación de mezclas, con la ligera modificación de las cámaras de combustión de los hogares, y la introducción de artificios adecuados de carga automática, pueden resolverse favorablemente la falta de hullas idóneas, no sólo manteniendo la eficiencia de los generadores con este combustible, sino incluso mejorándola en la mayoría de los casos.

Pues que los ferrocarriles y las siderúrgicas y coquerías anexas los mayores consumidores de carbón de España, con proporciones del 19,80 y 13,50 por 100 del consumo total, y trabajando actualmente con baja eficiencia debido principalmente a la falta de carbones apropiados, creemos debería empezarse por establecer instalaciones de mezcla en ambos sectores, a fin de preparar los tipos de combustibles que necesitan. Ello proporcionaría resultados beneficiosos a su explotación, al mismo tiempo que dejaría disponibles para otros sectores industriales respetables cantidades de carbón que serían utilizados con mayor eficiencia.

APROVECHAMIENTO DE COMBUSTIBLES POBRES.—Las dificultades surgidas en nuestra patria, durante los últimos trece años, como consecuencia de nuestra guerra civil y de la guerra mundial, así como la insuficiencia de producción para abastecer las necesidades de consumo del mercado carbonero, han impulsado la explotación de yacimientos de combustibles pobres, que durante estos años han encontrado fácil salida. Ello, como hemos visto, ha incrementado en cantidades importantes la producción de carbón en España, sin que, desgraciadamente, hayan corrido parejas las disponibilidades de calor.

No obstante, en la mayoría de los casos, estos combustibles pobres encontrarían continuidad en su empleo si se utilizaran racional y eficientemente.

Acertadamente, el Instituto Nacional de Industria ha abordado el problema de su utilización racional —de lo que son muestras la utilización en boca mina de los carbones de Ponferrada, Puentes de García Rodrigo, Puertollano y Escatrón— para la producción de energía eléctrica en centrales térmicas. También varias empresas privadas han emprendido eficazmente este camino. Por otra parte, la Empresa Nacional Calvo Sotelo estudia el aprovechamiento de nuestros lignitos de Galicia y de Teruel, en vistas a su utilización racional, ya sea por carbonización o por gasificación en gasógenos a presión con oxígeno.

Pero, independientemente de ello, debería buscarse la continuidad del empleo de los combustibles pobres en las industrias, especialmente en las situadas en regiones próximas a los yacimientos. Esto se conseguiría mejorando su depuración, utilizándolos para carbonización a baja temperatura —con lo que se obtendría un excelente semi-coque para usos domésticos,

un alquitrán primario del que pueden obtenerse combustibles líquidos sustitutivos del «fuel-oil», fenoles, parafinas, etc., y compuestos sulfurados o azufre precipitado— y, finalmente, utilizándolos para la producción de energía térmica.

El aprovechamiento racional de los combustibles pobres es posible económicamente en la mayoría de los casos, y así se realiza en el extranjero. Existen infinidad de dispositivos, hogares y gasógenos que permiten quemar o gasificar lignitos, hullas de elevada proporción de cenizas, carbonilla de coque, residuos vegetales, orujos, basuras, etc.

ADAPTACIÓN DE HOGARES E INSTALACIONES TÉRMICAS Y MODERNIZACIÓN DE LAS MISMAS.—Cuando desgraciadamente, como ocurre en España, deben quemarse combustibles no idóneos a los tipos de hogares, parrillas, hornos o instalaciones térmicas, proyectados y contruidos para determinadas clases de carbón (que se importaban muchas veces del extranjero), deben modificarse aquellos elementos, adaptándolos a las nuevas características del combustible que se ha de emplear si se quiere continuar trabajando con la máxima eficiencia.

Estas modificaciones, en la mayoría de casos, son sencillas, y aunque en algunos resulte de elevado coste, queda rápidamente amortizado por la economía de combustible conseguida.

Los hogares deben adaptarse a los combustibles que abundan, y que son: hullas de elevada proporción de materias volátiles, hullas pobres y lignitos.

Respecto a su tamaño, debe contarse con la utilización de los menudos.

Para lograr una perfecta combustión de estos carbones debe conseguirse: 1.º Realizar una combustión completa en el hogar, tanto en lo que se refiere al carbono fijo, como a las materias volátiles, regulando para ello la cantidad apropiada de aire primario y secundario. 2.º Evacuar las cenizas y realizar las cargas de carbón sin enfriar el hogar y la instalación. 3.º Preservar el material refractario de la acción corrosiva y abrasiva de las escorias.

Esto se conseguirá colocando parrillas adecuadas, dimensionando convenientemente las cámaras de combustión, preveyendo la adición de aire secundario precalentado (cuando sea preciso), produciendo determinada turbulencia en la combustión, alargando los cir-

cuitos de circulación de gases y regulando la combustión y el tiro.

En los hogares cargados a mano (práctica que debe desaparecer) deben seguirse determinadas instrucciones como las redactadas por el «Comité de Eficiencia de utilización de Combustibles» del Gobierno británico para la carga y limpieza del hogar y extracción de escorias.

En los hogares con alimentación mecánica —únicos aconsejables para conseguir la máxima eficiencia en la combustión y reducir el costo de la mano de obra— es más fácil conseguir las condiciones precisas para una buena combustión.

Estos dispositivos mecánicos podemos clasificarlos en:

1) Alimentadores mecánicos apropiados principalmente para calderas cilíndricas (calderas de uno o dos cuerpos, de hogar interior, verticales, de tubos de humos, etc.).

2) Alimentadores mecánicos apropiados principalmente para calderas acuotubulares.

3) Alimentadores de carbón pulverizado, utilizable en gran parte de instalaciones.

La aplicación de uno a otro tipo debe ser estudiado detenidamente por el ingeniero especialista.

Entre los primeros, existen tres clases características:

a) De proyección (intermitente o continua). El «*Sprinkler Stoker*», muy usado en Gran Bretaña y Alemania. El «*Spreader*», muy empleado en los Estados Unidos. Este último, que consiste en lanzar el carbón menudo sin pulverizar en la cámara de combustión (que no ha de ser demasiado grande), quemándose la parte más fina al entrar en la cámara, y el resto en un emparrillado especial, precisa un carbón alto en materias volátiles y lo más seco posible.

b) De impulsión o «*Coking Stokers*», que, aunque no se hallan muy diseminados en España, dan buenos resultados y son especialmente recomendables para carbones que coquizan.

c) De alimentación inferior o «*Underfeed Stokers*». Este quemador es uno de los más racionales, cuando se emplean carbones altos en materias volátiles, ya que llegando el carbón por la parte inferior empieza éste a desprender gases por efecto del calor, cuyos gases, mezclándose íntimamente con el aire a presión

insuflado bajo la parrilla, tienen que atravesar la zona de carbón incandescente superior, donde tiene lugar su combustión completa. Estos quemadores permiten graduar fácilmente la cantidad de carbón a quemar y el aire preciso.

Los hogares de las locomotoras pueden quemar también extensa gama de carbones, incluso carbones pobres, pero es condición indispensable que la capa de fuegos, la parrilla y el hogar sea especialmente construido para cada caso. La transformación de los hogares, en la generalidad de los casos, es muy difícil de realizar, por lo que es aconsejable emplear siempre la calidad de carbón apropiado para la que han sido construidas las locomotoras.

Los hogares industriales, semi-gasógenos y gasógenos, pueden quemar o gasificar variadas clases de carbones. Las importantes instalaciones térmicas de la industria Química, de Cemento, Vidriera, Mineras y Metalúrgicas, pueden utilizar carbones diversos y aun combustibles pobres, siempre que tengan los hogares apropiados para ello. Pero es necesario después que estas calidades se mantengan constantes y tengan la seguridad de un suministro regular. Lo que no es posible es consumir eficientemente un día determinada clase de carbón, y al siguiente otra, y menos aún consumir calidades con proporciones de cenizas del 35 al 50 por 100, como se han visto obligadas a consumir en estos últimos años.

Respecto a los gasógenos, los tipos modernos de parrilla giratoria con desescoriado automático, camisa de agua o vapor (water-jacket), inyección de mezcla aire-vapor precalentado, alimentación y distribución mecánica de combustibles, etc., permiten gasificar según su construcción: antracitas, carbones bituminosos, lignitos, briquetas, carbonilla de coque y carbones pobres. Naturalmente, cada tipo de gasógeno requiere constancia en la calidad del combustible empleado.

Actualmente puede decirse, con razón, que disponiendo de hogares apropiados y tomando determinadas medidas, pueden quemarse o gasificarse con buen resultado cualquier clase de carbón.

No obstante, la simple adaptación o modificación de los hogares, puede no ser suficiente para obtener rendimientos térmicos elevados. Puede, en efecto, realizarse una combustión perfecta en el hogar y, en cam-

bio, utilizar deficientemente el calor desarrollado. En una explotación industrial puede también cada aparato térmico, generador, horno, secador, etc., trabajar con elevado rendimiento y, sin embargo, resultar desastrosa la explotación global.

Por ello, además de adaptar los hogares al tipo de carbón que deba consumirse, deben también modificarse las calderas, hornos o aparatos de utilización de bajo rendimiento, sustituyéndolos cuando sea preciso, por *instalaciones modernas* más eficientes.

Por lo que a la producción y utilización del vapor se refiere, debemos señalar el interés desde el punto de vista térmico del empleo de vapor a media y alta presión.

REDUCCIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR Y UTILIZACIÓN DEL CALOR RECUPERABLE.—Complemento de todo lo anteriormente dicho, es la reducción de las pérdidas de calor, evitables mediante eficaz aislamiento térmico, tanto de las partes metálicas calientes, como de las mamposterías de los hornos gasógenos, hogares, fundiciones y aparatos de utilización.

Tanta o más importancia que la reducción de pérdidas de calor evitables, tiene el aprovechamiento o utilización de las pérdidas inevitables y la coordinación de los diferentes servicios térmicos.

Estas pérdidas, que hemos llamado «inevitables», son las producidas, por ejemplo, por el vapor de escape de las turbinas y máquinas de vapor, las del calor contenido en el agua de refrigeración de los grandes motores Diessel o de gas, las del calor contenido en los humos a la salida de los hornos o recuperadores, los contenidos en los productos fabricados (o de los gases desprendidos) que salen calientes de los hornos, etc.

La coordinación de los servicios térmicos se refiere a la agrupación y conjugación de éstos, centralizando la producción de energía térmica en grandes unidades y aprovechando aquella escalonadamente, de acuerdo con las necesidades de los diferentes servicios.

Entre las cantidades de calor perdidas en los humos de los generadores de vapor u hornos que trabajan a temperaturas elevadas, es muy interesante recuperar importantes proporciones, precalentando el agua de eliminación de las calderas o el aire comburente, empleando economizadores, precalentadores o recuperadores y regeneradores.

En las pequeñas instalaciones o en determinadas industrias se hace difícil a veces la recuperación de las otras pérdidas «inevitables», pero en las grandes industrias las cantidades de calor que pueden aprovecharse por este concepto son muy importantes y deben utilizarse para conseguir *un aprovechamiento racional de nuestros combustibles*.

Así, por ejemplo:

Un moderno centro siderúrgico aprovecha todos los excedentes de gas y de calor de la coquería y hornos altos para la calefacción de los hornos de acero Martin-Siemens, para los talleres de laminación, para la producción de vapor y energía eléctrica, así como para los servicios auxiliares de aglomeración, destilación de alquitrán, etc., y recupera todo el calor de los humos a la salida de los recuperadores haciéndolos circular por calderas de utilización de calores perdidos, al mismo tiempo que aprovecha también el calor del coque al rojo descargado de los hornos, apagándolo en seco mediante gases inertes que ceden su calor a otras calderas de recuperación. También coordinando los diferentes servicios consumidores de vapor se consigue que el vapor a alta presión se emplee primero para producir fuerza motriz y después el vapor de escape de las turbinas se utilice para fines de calefacción. En definitiva se ha logrado que las siderúrgicas constituyan grupos completamente autónomos en sus necesidades de energía con un consumo total de carbón crudo de únicamente 1.500 kilogramos por tonelada de acero laminado.

Las modernas fábricas de cemento consiguen también un aprovechamiento racional del carbón utilizando el calor del «clinker» y de los humos que salen del horno de cocción, para precalentar el aire comburente del carbón pulverizado, para el secado de la pasta antes de la cocción y para producir vapor, utilizado en la producción de fuerza motriz.

Las industrias del vidrio consiguen reducidos consumos de carbón utilizando modernos gasógenos y aprovechando el calor de los humos del horno de vidrio o para producir fuerza motriz con calderas de recuperación.

En la industria química, fábricas de gas, industria minera, centrales térmicas, etc., es posible recuperar ingentes cantidades de calor para la producción de

fuerza motriz, para calefacción, instalaciones de secado y de producción de aire o agua caliente.

En las industrias químicas, papelera, textiles con blanqueo y tinte, etc., es térmicamente aconsejable el empleo de vapor a alta presión para la producción de energía y aprovechar después el vapor de escape de las turbinas o máquinas de vapor a contrapresión para caldeo, secado, etc.

Solamente teniendo en cuenta todos estos extremos lograremos alcanzar el nivel de eficiencia térmica conseguida en otros países y equilibrar el consumo de carbón con la producción nacional, sin estar supeditados a los suministros del extranjero en nuestras necesidades energéticas y sin malgastar las reservas que encierra nuestro suelo patrio y que constituyen nuestro mejor patrimonio.

CONCLUSIONES

Para conseguir el aprovechamiento racional de los carbones españoles será necesario:

1.º *Mejorar la depuración y lavado de los carbones*, intensificando la campaña ya iniciada oficialmente con objeto de que *todo aumento en la producción de los mismos lleve aparejada una mejora de calidad*, pues sin este requisito aquel aumento no sería efectivo, eficaz ni económico para el país.

2.º *Establecer una amplia clasificación comercial adecuada*, por parte del oportuno organismo competente —Instituto del Carbón, de Oviedo, para el caso—, con la indicación de la aplicación más apropiada de cada clase, tipo y tamaño de carbón.

3.º *Distribuir*, mientras duren las actuales circunstancias, y *con carácter transitorio*, las *diferentes clases de carbón según sus aplicaciones, dando preferencia*, aun en detrimento de otras —salvo complicaciones de carácter nacional— *a aquellas industrias o ramas que por sus características lo utilicen racionalmente y con la mayor eficiencia térmica*.

4.º *Preparar científica y experimentalmente las mezclas de carbones* que precisen las diferentes industrias, cuando falten o escaseen las clases de carbones más apropiadas.

5.º *Revalorizar nuestra abundante producción de menudos por carbonización, semi-carbonización y aglomeración*, fomentando el desarrollo de dichas ac-

tividades y el aprovechamiento integral de sus derivados.

6.º *Exigir que toda nueva instalación de calor reúna un mínimo de eficiencia térmica.* A dicho fin, y antes de otorgar la correspondiente autorización oficial de funcionamiento, debería ser condición *previa el informe de una Comisión Técnica Especializada* en «Eficiencia y economía del calor», que la Asociación Nacional de Ingenieros Industriales cuidaría de crear en cada una de sus Agrupaciones.

7.º *Fomentar y divulgar los conocimientos de la técnica del calor aplicada a la industria,* informando y asesorando a los industriales sobre el mejoramiento térmico y económico de sus instalaciones, cuya misión competiría asimismo a la citada Comisión.

8.º *Fijar un plazo prudencial para transformar aquellas instalaciones que por anticuadas resulten antieconómicas, en otras más eficientes,* pasado el cual debería prohibirse el funcionamiento de las que no hayan sufrido las modificaciones pertinentes.

9.º *Proscribir el empleo doméstico de combustibles que produzcan gases o polvo,* sobre todo en las ciudades importantes donde el gas, el coque y las antracitas tienen su aplicación más adecuada y eficiente.

10. *Estimular la modernización y ampliación de las instalaciones térmicas y el consumo racional de nuestros combustibles pobres,* facilitando —cuando sea preciso— créditos en condiciones favorables, así como divisas para el pago de cánones correspondientes a instalaciones y patentes que tiendan a economizar nuestro carbón o a reducir el que deba importarse.

* * *

Aumentando la producción y calidad del carbón nacional y reduciendo el consumo del mismo mediante su racional utilización, lograremos mejorar la economía del país, favoreciendo nuestra balanza de pagos y liberando grandes cantidades de carbón para otras actividades que lo aprovecharán más eficazmente.

Con la fiel observancia a todo cuanto queda expuesto, y con la constante y tenaz aplicación sin desmayo de todos los principios que la han informado, alcanzaremos la independencia económica que todos anhelamos para nuestra querida Patria.

Barcelona, marzo 1950.

DOCUMENTACIÓN

ANUARIO FINANCIERO. Año 1919.—El comercio de España antes y durante la Guerra Europea.

ANUARIO FINANCIERO. Años 1947-48.—Producción e importación de carbón en España.

AUTONNE-BOUR, L.—Les economies de combustibles: Conferencia en el Centre de Perfectionement Technique. París, marzo 1946.

BERTHELOT, CH.—De la carbonisation aux carburants d'aviation. Dunod, París, 1939-41.

BERTHELOT, CH.—Epuración, Sechage, Agglomeration et Broyage du charbon. Dunod, París.

BORRÁS BRUCART, E.—Sobre la utilización eficiente del carbón. Comunicación presentada a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.

CABELLOS BENITO, M.—Interés nacional de la industria del gas de aluminado. Comunicado a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.

CASADEVALL DURÁN, L.—Reducción en el consumo de combustible. Comunicado a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.

CALORE (IL). Núms. 9 y 10, de sept. y oct. 1947.—Rapporto dell' A. N. C. C. en la Conferencia Mundial de la Energía.

COMBUSTIBLES E INGENIERÍA (Revista). Núms. 170 a 174. Londres, 1949.—Principios de la Práctica de Calderas.

COMISIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL CARBÓN (Ministerio de Industria y Comercio).—Estadística General de Producción, Importación y Distribución directa de Carbones minerales. Año 1948 y otros.

COMISIÓN PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL CARBÓN (Ministerio de Industria y Comercio).—Estadística General de Consumo de Carbones por las distintas Industrias y Distribución para Almacenistas. Año 1948 y otros.

COROMINAS SOSTRES, R.—Para una mejora de la utilización de los combustibles sólidos. Comunicación a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.

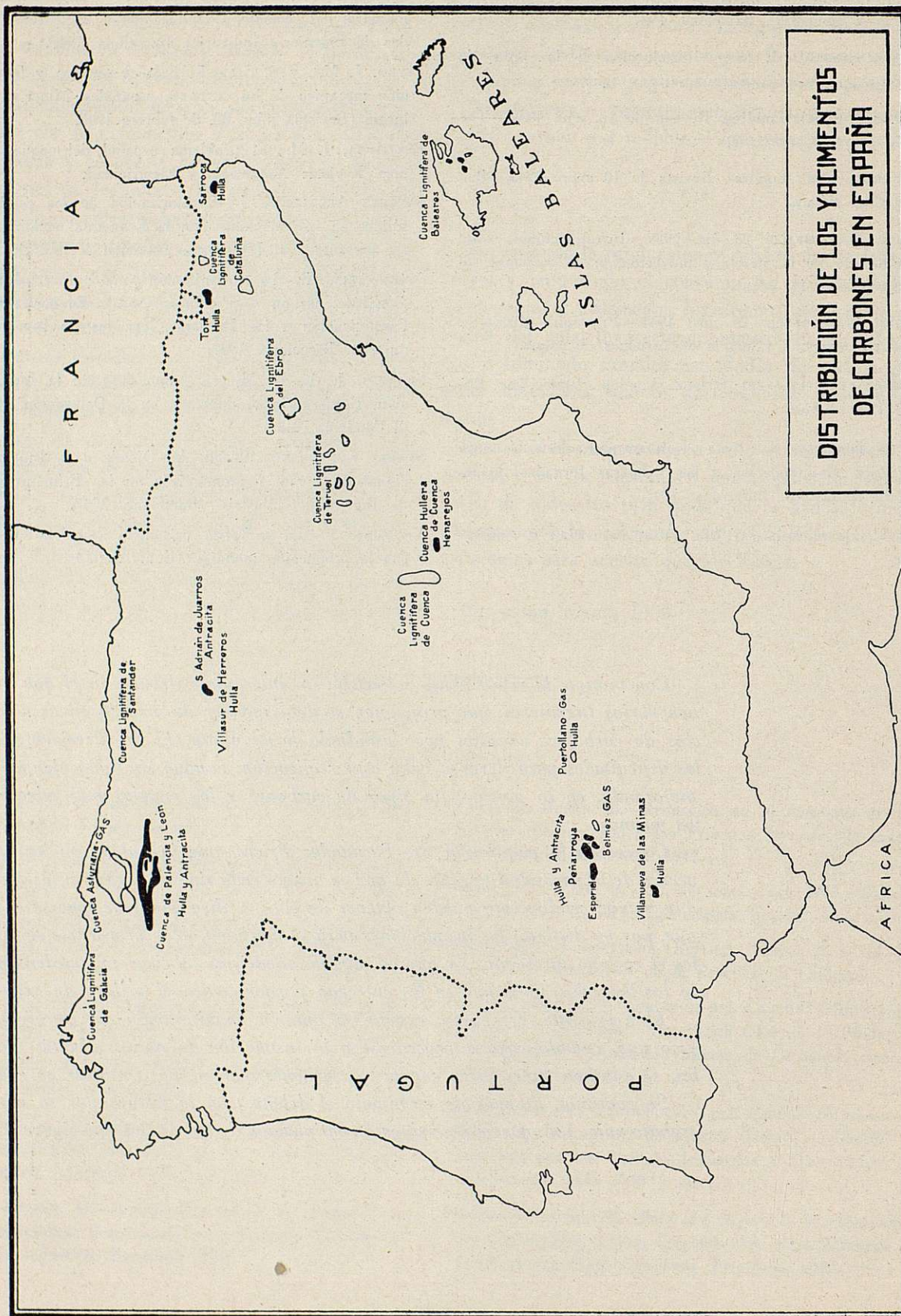
- DIEGO CENDOYA, M.—Mejoras en los rendimientos térmicos en la industria. Comunicación a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.
- FERNÁNDEZ-LADREDA, J. M.^a—Introducción a la obra de R. Wigner titulada «Carbón, aire y agua».
- GAS WORLD (THE). Londres. Revista de 13 sept. 1947.—The World Power. Conference.
- GAS WORLD (THE). Londres. Revista de 10 enero 1948.—British Coal Policy.
- GAS UND WASSERFACH. 28 dic. 1939.—Investigaciones sobre la influencia de la mezcla y pulverización de carbones sobre la calidad del coque.
- GAS UND WASSERFACH. 29 nov. 1941.—Principios directivos de la pulverización y mezcla de carbones de coque.
- HIS MAJESTY STATIONERY OFFICE. London, 1944.—The Efficient Use of Fuel.
- MARQUET TORRENTS, L.—Ante el déficit de nuestra balanza energética. Comunicación a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.
- PADOA, L. Hoepli-Milano, 1948.—Forni industriali a combustione.
- PALOMAR COLLADO, P.—Estudios sobre los resultados anti-económicos del empleo de carbones de baja calidad en la industria del cemento. Comunicación a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.
- PEDRO, J. M.^a, y S. GIL.—El balance térmico y la preparación mecánica de los carbones españoles. Minería y Metalurgia (Revista), núm. 82, de febrero 1948.
- PERTIERRA, J. M.—El problema español del coque metalúrgico. Revista: Metalurgia y Electricidad.
- SÁNCHEZ ARBOLEDAS, J.—Revalorización de los combustibles sólidos en sus relaciones con la Economía nacional. Memoria presentada al I Congreso Nacional Metalúrgico.
- SIMÓN ARIAS, R.—La carbonización como aprovechamiento racional del carbón y su influencia en la Economía nacional. Comunicación a las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.
- SUANZES, J. A.—La Minería como base de la Industrialización. Conferencia pronunciada en la Delegación Provincial de Madrid, 1943.
- SUÁREZ y FERNÁNDEZ-PELLO, A.—Ojeada a la Industria Nacional. Conferencia pronunciada en las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial. Barcelona, 1947.
- VILLEGAS, L.—La industria carbonera española en relación con la producción mundial. (Conferencia.)

Con motivo de este trabajo se suscita un interesante debate, en el que intervienen varios Ingenieros, que propugnan se debe atender de manera eficaz a las mezclas de carbones, cuestión poco estudiada hasta ahora. El Sr. Presidente expone las dificultades para llevar a cabo esta realización, aunque sin duda alguna se van mejorando, en lo posible, los tipos de carbones y las mezclas más adecuadas de los mismos.

Concedida la palabra al Sr. Fernández Prieto, que la había solicitado, habla acerca de la necesidad urgente de que se asigne cada tipo de carbón a las industrias que mayor rendimiento pueden obtener de ellos, y dice que debe tenerse en cuenta que, por ser distintas las instalaciones para su consumo, debe procurarse suministrarles el carbón apropiado, ya que en algunas modernas fábricas no pueden emplearse los llamados finos que se les entregan porque tienen el peligro de explosiones.

El Presidente, Sr. Lucio, expone su opinión, manifestando que parece más lógico que, cuando vaya a procederse a la instalación de nuevas plantas industriales, se estudien teniendo en cuenta los carbones que se van a utilizar en ellas.

Se continúa, después de terminado el debate, con la lectura por su autor del trabajo núm. 156, que se reproduce a continuación de los Anejos que siguen.



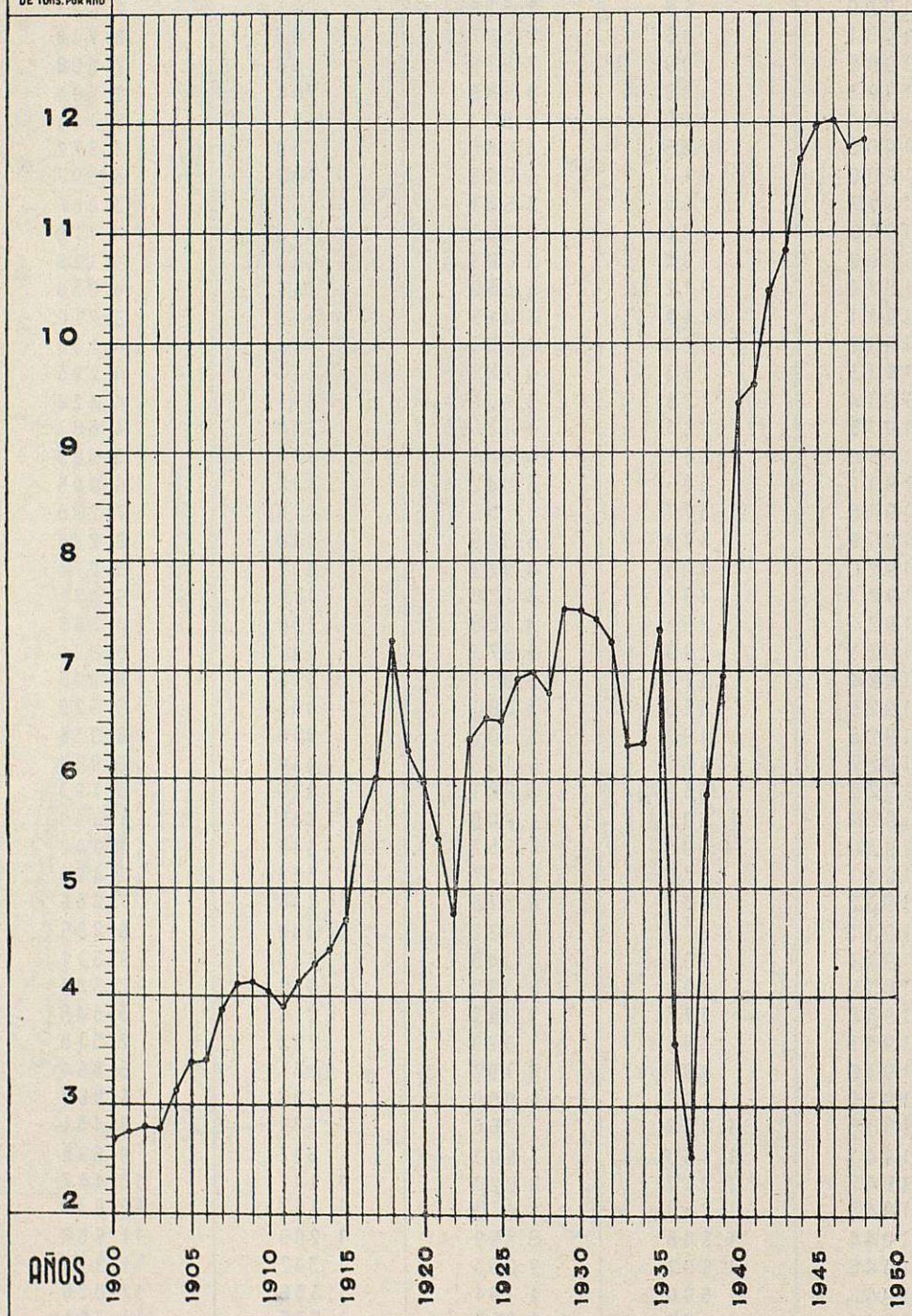
PRODUCCIÓN DE CARBONES MINERALES ESPAÑOLES
EN MILES DE TONELADAS ANUALES

AÑOS	ANTRACITA	HULLA	LIGNITO	TOTALES
1900	68	2.515	91	2.674
1901	85	2.567	96	2.748
1902	109	2.615	84	2.808
1903	109	2.588	104	2.801
1904	119	2.904	101	3.124
1905	135	3.068	169	3.372
1906	113	3.095	189	3.397
1907	165	3.531	191	3.887
1908	188	3.697	233	4.118
1909	198	3.663	265	4.126
1910	212	3.600	246	4.058
1911	209	3.455	252	3.916
1912	226	3.626	284	4.136
1913	233	3.783	277	4.293
1914	228	3.905	291	4.424
1915	223	4.136	328	4.687
1916	268	4.848	473	5.589
1917	525	5.042	638	6.005
1918	377	6.135	726	7.238
1919	399	5.305	540	6.244
1920	493	4.929	552	5.974
1921	292	4.720	409	5.421
1922	256	4.180	330	4.766
1923	299	5.673	394	6.366
1924	316	5.811	412	6.539
1925	316	5.801	403	6.520
1926	403	6.133	400	6.936
1927	430	6.133	430	6.993
1928	389	5.981	423	6.793
1929	500	6.609	439	7.548
1930	605	6.557	380	7.542
1931	576	6.537	353	7.466
1932	637	6.273	346	7.256
1933	573	5.422	290	6.285
1934	686	5.340	285	6.311
1935	696	6.332	312	7.340
1936	373	2.959	216	3.548
1937	396	1.829	293	2.518
1938	496	5.197	171	5.864
1939	666	6.089	205	6.960
1940	1.096	7.766	569	9.431
1941	1.168	7.603	827	9.598
1942	1.277	8.029	1.141	10.447
1943	1.259	8.413	1.162	10.834
1944	1.548	8.899	1.209	11.656
1945	1.602	9.033	1.342	11.977
1946	1.500	9.184	1.336	12.020
1947	1.427	9.062	1.275	11.764
1948	1.459	8.964	1.399	11.822

PRODUCCIÓN TOTAL DE CARBONES MINERALES ESPAÑOLES (ANTRACITA, HULLA Y LIGNITO)

MILLONES
DE TONS. POR AÑO

GRÁFICO



IMPORTACIÓN DE CARBONES EN ESPAÑA

LOS DATOS ESTADÍSTICOS QUE SE DETALLAN, PROCEDEN DE LOS PUBLICADOS
EN EL ANUARIO FINANCIERO (PÁGS. NºS 98 Y 99 DEL AÑO 1919 Y PÁGS. 1451
Y 1452 DEL AÑO 1947-1948)

AÑOS 1900 A 1928	
AÑOS	TONELADAS
1900	2.000.000
1901	2.100.000
1902	2.100.000
1903	2.000.000
1904	2.100.000
1905	2.200.000
1906	2.150.000
1907	2.100.000
1908	2.100.000
1909	2.250.000
1910	2.315.874
1911	2.371.914
1912	2.677.756
1913	3.098.332
1914	2.875.753
1915	1.905.024
1916	2.151.290
1917	1.167.258
1918	528.016
1919	800.000
1920	500.000
1921	900.000
1922	1.696.400
1923	1.246.100
1924	1.429.900
1925	1.665.100
1926	1.012.600
1927	2.272.900
1928	1.888.200

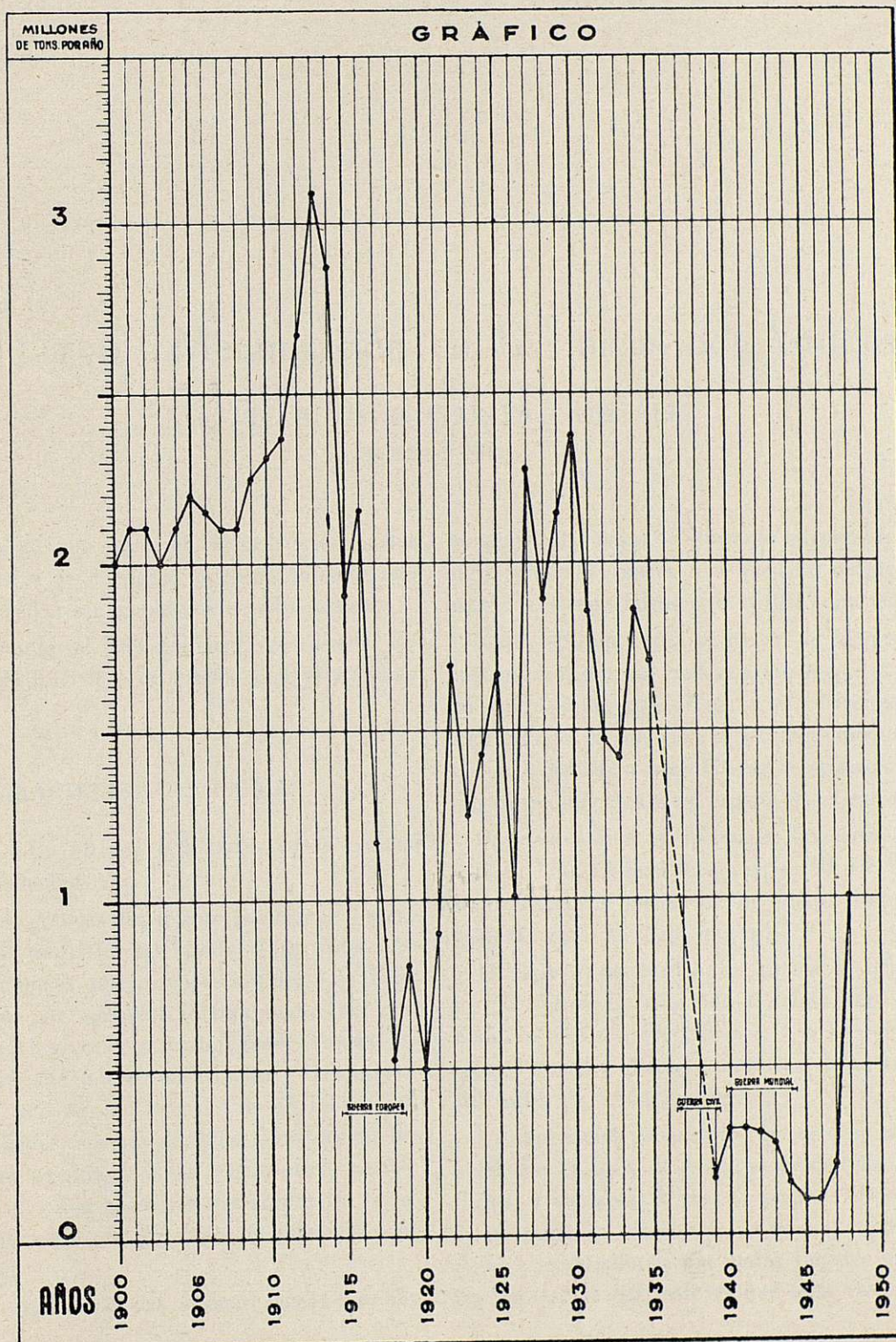
IMPORTACIÓN DE CARBONES EN ESPAÑA (AÑOS 1929 A 1948)

ESTADÍSTICAS OFICIALES PUBLICADAS POR EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y COMERCIO

AÑOS	CLASIFICACIÓN DE LOS CARBONES IMPORTADOS PARA LA PENÍNSULA Y BALEARES				TOTAL PENÍNSULA Y BALEARES	DEPÓSITOS FRANCOS Y FLOTANTES	CANARIAS	NORTE AFRICA	TOTAL IMPORTACIÓN	RELACIÓN DE LA IMPORTACIÓN A LA PRODUCCIÓN ANUAL DE HULLA Y ANTRACITA
	ANTRACITA	HULLA	COQUE	AGLOMERADOS						
1929	112.328	1.429.678	285.222	28.344	1.855.572	287.475	NO HAY DATOS	NO HAY DATOS	2.143.047	30'46 %
1930	109.022	1.292.459	240.710	27.631	1.669.822	369.909	300.996	39.699	2.371.426	33'02 %
1931	81.218	1.004.123	131.574	17.403	1.234.318	318.563	288.248	11.305	1.852.434	26'04 %
1932	73.719	721.389	75.618	18.104	888.830	296.483	231.631	62.905	1.479.849	21'42 %
1933	58.775	724.286	61.171	15.724	859.956	279.730	209.416	66.946	1.416.048	23'62 %
1934	62.526	1.046.667	89.137	22.119	1.220.449	281.626	192.559	162.115	1.857.149	30'82 %
1935	57.490	810.675	69.188	13.700	951.053	304.064	230.450	221.431	1.706.998	24'29 %
1936	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1937	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1938	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1939	—	32.088	400	—	32.458	9.568	100.021	17.790	159.837	2'37 %
1940	—	115.856	9.687	12.210	137.753	24.088	126.383	14.216	302.420	3'41 %
1941	—	92.093	64.416	1.027	157.536	29.628	75.960	42.265	305.389	3'48 %
1942	—	112.256	89.540	1.890	203.686	35.039	22.283	36.736	297.744	3'20 %
1943	—	122.295	67.009	—	189.304	36.079	4.104	32.482	261.969	2'71 %
1944	—	57.935	22.834	—	80.769	12.056	17.002	31.296	141.123	1'35 %
1945	—	62.189	—	—	62.189	5.080	8.922	15.190	91.381	0'86 %
1946	—	66.774	940	—	67.714	4.470	23.169	—	95.353	0'89 %
1947	—	19.640	—	—	19.640	—	74.789	107.305	201.734	1'92 %
1948	—	671.934	37.464	6.215	715.613	45.938	60.883	192.300	1.014.734	9'73 %

IMPORTACIÓN DE CARBONES

(ANTRACITA, HULLA, COQUE Y AGLOMERADOS)



IMPORTACION DE MERCADERIAS

DECLARACION DE VALORES

ORDEN	DESCRIPCION	VALOR	IMPORTE
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
41			
42			
43			
44			
45			
46			
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			
79			
80			
81			
82			
83			
84			
85			
86			
87			
88			
89			
90			
91			
92			
93			
94			
95			
96			
97			
98			
99			
100			

N.º 156. - Mecanización en las minas de Asturias

Autor: D. AGUSTÍN GARCÍA GONZÁLEZ

Ingeniero de Minas

Entendemos por mecanización, la utilización en los distintos trabajos de máquinas o procedimientos mecánicos que puedan ser empleados económicamente.

Antes de abordar el tema conviene recordar las características de las capas de carbón que se explotan en Asturias.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Pendientes.—Un 80 por 100 de las capas exceden de los 45° de inclinación.

Fallas.—Los grandes trastornos geológicos ocurridos en la zona asturiana han producido grandes pliegues, en tal número que, como es sabido, a lo largo del río Nalón, por ejemplo, se reproducen los mismos paquetes 11 veces y se cortan desde Tudela Veguín hasta Laviana 6 ejes anticlinales y 5 ejes sinclinales, todo esto en una longitud de 15 kilómetros. Estos plegamientos, además de fallas generales de importancia, han originado fallas y trastornos locales, esterilidades, etc., que hacen sea extraordinaria la capa que, en 50 metros de recorrido, no presenta algún trastorno local.

Hastiales.—Quizás por las mismas causas que han

producido las fallas, los terrenos adyacentes que sirven de techos y de muros han quedado resquebrajados y movidos, siendo falsos y de difícil contención.

Grisú.—Sin presentarse casos de desprendimiento instantáneo, son, sin embargo, minas que producen gas en cantidad tal, que obliga a prescripciones severas, sacrificando en muchos casos rendimientos a la seguridad, haciendo prohibitivos la aplicación de algunos procedimientos muy usuales en el extranjero.

Potencias.—Son excepcionales las capas que miden más de 1,50. La explotación en su 90 por 100 se hace sobre capas de menos de un metro, llegando a explotarse venas de 0,45 metros.

El espesor de carbón explotable es del orden de los 30 metros. Corresponde al tramo inferior del carbonífero medio o Wetsfaliense, y el espesor de los terrenos estériles donde arman las distintas capas es del orden de 5.054 kilómetros.

La explotación se hace por pozos o en minas sobre nivel. En la zona de Langreo predomina la primera forma, y en la de Mieres la segunda. Los pozos son en su mayoría circulares, revestidos de hormigón y de una producción media diaria variable entre distintos límites; lo corriente es que éstos estén entre 750

y 1.000 toneladas. La profundidad máxima alcanzada es la de 500 metros.

La explotación se hace entre plantas o pisos de 50 a 75 metros. Las capas de un mismo nivel se unen entre sí por transversales. Los distintos pisos se comunican por chimeneas, planos o balanzas.

El número de frentes es excesivo y la producción media diaria por taller, explotación o frente es inferior a 75 toneladas diarias.

En las minas donde hay mecanización se utilizan en el arranque martillos picadores. El sistema de explotación es: en capas verticales, el de testers, y en inclinadas, el de macizos cortos.

El relleno se hace completo en capas verticales. En inclinadas es incompleto. No se hace hundimiento dirigido.

La madera es empleada para sostenimiento, con preferencia a ningún otro sistema. Se consumen unos 70 kgs. de madera por tonelada de carbón producida.

Los rendimientos medios normales son:

Picadores	2.700 a 3.000 Kgs.
Total de interior... ..	675 a 725 »
Total incluido (cargue)	480 a 500 »

El estudio de la posibilidad de mecanización en las minas de Asturias lo dividiremos en los siguientes apartados:

Métodos de explotación y equipos en los frentes.

Avance de galerías en roca.

Transporte subterráneo.

Instalaciones de extracción.

Instalaciones de exterior.

En cada uno de estos apartados hacemos breve reseña del sistema actual o instalaciones actuales, enumeramos los distintos procedimientos usuales en el extranjero y señalamos las soluciones que pudieran ser adoptadas. Todas las conclusiones son de carácter general, pues su aplicación obligaría a un estudio detallado de cada una, ya que todos los problemas que se plantean son de extraordinaria dificultad y complicación en sus detalles.

I.—MÉTODOS DE EXPLOTACIÓN Y EQUIPOS EN LOS FRENTES

El método empleado en el arranque de las capas verticales es el de testers, variando la altura de éstos

de 2,50 a 7,50 metros, o como excepción 9 metros. Los testers o tajos se escalonan de abajo hacia arriba. Se sostienen los hastiales con madera, y el espacio vaciado se rellena con escombros. No se hace recuperación de la madera. El carbón desciende sobre tableros o sobre el mismo relleno. La entibación es variada, según sea la naturaleza de los hastiales. En cada tajo o tester sólo puede colocarse un obrero, y en el caso que la altura de aquéllos sea de 2,50, que corresponde generalmente con la disposición de que el carbón caiga sobre el relleno, necesitan dos tajos cada obrero. Así, pues, un frente de 60 metros de altura tiene 11 tajos (de a 5 metros) y una sobreguía de 2,50, pues se deja un macizo sobre la galería de 2,50 metros.

Las galerías son de sección trapezoidal, de diferentes anchos y de unos 2 metros de altura.

En las capas inclinadas se explota por macizos cortos, haciéndose un trazado previo de pocillos y sobreguías, arrancando los macizos en retirada.

El picador trabaja con el martillo, picando por la parte más blanda de la vena, que suele llevar siempre alguna intercalación de estériles. El peso del martillo varía de 7 a 9 kilos, y aprovecha su peso para el trabajo. En las minas donde aún se trabaja a mano o «regadera», previamente se hace hueco, «riega» o prepara la salida a los barrenos. A veces se conjugan ambos métodos y se «riega» con martillo y se dispara.

Las instalaciones de aire comprimido están en el exterior y se van montando compresores de mayores potencias y agrupándolos. Las potencias más usuales son 500 HP.

Las distintas máquinas utilizadas en el extranjero para el arranque son, además del martillo picador, hoy en boga en Alemania e incluso en Inglaterra, las cortadoras, rozadoras, cargadoras, cortadoras-cargadoras, cepillos y, como anexas a ellas, aun cuando son máquinas transportadoras, los «conveyors» o transportadores de cinta, vibratorios electro magnéticos, etc. Los fabricantes son diversos y son ejecutados en distintas naciones.

A) Para dejar sentados conceptos, hay que decir que estas máquinas, de instalación y entretenimiento caro, están proyectadas para capas en donde puedan apoyarse sobre un hastial y trabajar en un frente continuo. Son igualmente utilizadas en caso que sean

rentables. Comparativamente con un martillo se estima que éste es superior a cualquier máquina, si un minero puede arrancar un metro cúbico en veinte minutos.

B) Las máquinas rozadoras, cargadoras, etc., no son, por tanto, aplicables en capas verticales. Salvo lo que diremos del cepillo, podemos considerar que, por el momento, la única máquina posible de empleo son los martillos picadores. En las capas inclinadas, sin embargo, debe tenderse a intentar su aplicación. Se precisan capas seguídas, sin fallas locales y de potencia regular. Siempre que se encuentren capas de estas características debe estudiarse el empleo económico de dichas máquinas, de un rendimiento eficaz y de una marcha que, al no acostumbrado a verlas, la primera vez que se ven trabajar sorprende su fácil manejo, robustez y eficacia.

C) El problema de transporte en el frente está supeditado a:

a) Que el frente sea continuo.

b) Que la producción justifique y amortice la instalación.

c) Que sea preciso, esto es, que no corra el carbón por gravedad (capas poco inclinadas).

D) Finalmente, hablaremos del cepillo o «rabort» con algún detalle por su novedad, ya que no lo citan aún los tratados de laboreo. Por primera vez, en 1937, fué en Ibbenburen (Ruhr) donde se ensayó en un frente de inclinación menor de 25°. Ya en el año 1912 se sacó patente de un aparato mecánico automático similar al actual. En 1917 se hizo una nueva tentativa para su uso. En 1927 un francés, M. Ducoeur, hizo un prototipo que puede considerarse como el fundamento del actual. El aparato ensayado en Ibbenburen tiene la siguiente forma: Simétrico con relación a un plano vertical perpendicular a su eje longitudinal (en realidad son dos cepillos, destinados uno a trabajar subiendo y otro descendiendo). Cada cepillo tiene el cepillo de corte y un cepillo para limpiar. El cepillo de corte o cepillo propiamente dicho se apoya fuertemente en la vena y «cepilla» en cada pasada 0,30 metros a velocidad de 5 metros minuto, a medida que se mueve. El cepillo de limpieza echa el carbón al «conveyor». Este cepillo se llama estático, puede tener 2/3 de la potencia de la capa, de una longitud de 7 metros, de un ancho de 0,70 metros, con un

peso de 2.500 kilos, y es movido por cabrestantes. Anexos al cepillo va un transportador que se desplaza a medida que lo hace el cepillo. El precio de una instalación completa se evaluaba el año 1946 en un millón de francos y se logró, utilizando el cepillo, una economía por tonelada, en relación con el martillo picador, del 43 por 100, y una disminución de jornales variando de 5,8 a 14,5 por cada 100 toneladas producidas. Ha habido necesidad de resolver distintos problemas de entibación, relleno, etc. Los resultados han sido espléndidos y se han logrado explotar capas de techo muy malo, estimadas inexplorables hasta el momento. Como ejemplo resumen diremos que, en Hannóver Hanmbal, en una vena dura, de 1,40 metros de potencia, pendiente de 20° a 25°, un cepillo de velocidad 5 metros minuto en frente de 200 metros de largo, en una tarea de siete horas, 11 hombres servidores del cepillo producían 300 toneladas.

Estos ensayos, realizados en venas más bien blandas, hicieron pensar en la posibilidad de utilizarlo en venas duras, y se pensó en combinar el principio del cepillo con aparatos que por percusión rompiesen el carbón. Así se fué a construir el cepillo activo. La firma Wetsfalia Lünen, construyó uno en el que no solamente la parte cortante está animada de movimiento, sino todo el conjunto. El movimiento es logrado por la rotación de un motor de aire comprimido. El peso total del aparato es de unas 3 toneladas, tiene 4,3 metros de longitud, un metro de alto y 0,80 metros de ancho. Este primer cepillo activado sólo funcionaba en un sentido, y como se perdía tiempo en las maniobras, se fué al cepillo simétrico activado. Los resultados fueron muy buenos. Las comisiones francesas que fueron al Ruhr estimaron la gran utilidad de esta máquina, comenzaron a ensayarla en su país y hoy están empezando a introducirla, al mismo tiempo que en Alemania los ensayos van siendo más profundos. En Inglaterra, igualmente se preconiza su ensayo.

Considerada esta nueva máquina como substitución de las cortadoras, rozadoras, etc., para capas horizontales, salvo la novedad, en España donde no están en uso las primeras no valdría hablar mucho de ella, más es el caso que pensando su posible aplicación a las capas de más de 30°, la Casa Wiukhans,

de Furtenhorev, lanzó un prototipo utilizable para capas de mayor inclinación a la de 30° y posible de emplear incluso en las verticales. Consiste esencialmente en una cuchilla orientada en el sentido de progresión del aparato (de arriba hacia abajo). Esta cuchilla está montada en una articulación en forma de aspa, que permite regular la altura del aparato. El conjunto va montado sobre unos patines que se deslizan por la entibación. La explotación debe ir montada en diagonal. El aparato corta 0,30 metros de profundidad, sólo hacia abajo, y es vuelto a subir en vacío para continuar el segundo cepillado. Se ha llegado a obtener por jornada avances de dos metros. Aún está en vías de ensayo, pero éstos se están haciendo en muchas minas y con grandes resultados. La aplicación de estos aparatos parece conducir a las conclusiones siguientes: a) se realiza una economía en el precio de costo del 10 %; b) se obtiene un rendimiento en vena de 50 a 140 % superior al empleo del martillo; c) se simplifica el trabajo, que pasa a ser, de trabajo de obrero especializado, a poder hacerlo personal sin especialización.

RELLENO EN LAS EXPLOTACIONES DE ASTURIAS

Se rellena por gravedad en las capas verticales. En las inclinadas, por paleo. En cualquier caso, no está mecanizado y resulta costoso. El relleno hidráulico o neumático, con sus ventajas e inconvenientes de orden técnico, podría utilizarse si la gran dispersión de nuestras labores no lo hiciese prohibitivo por lo cara que resultaría la instalación. Podría pensarse en el hundimiento dirigido en las capas horizontales; en las superiores a 30° no es posible, ya que al hundimiento se combina el deslizamiento del techo, pero además de muchas consideraciones de orden técnico; y a este respecto es interesante conocer las prescripciones del Reglamento de Policía Minera francés; es fundamental una vigilancia extraordinaria y al detalle efectuada por los propios Ingenieros, lo que nuestra organización y dispersión de trabajos no lo consiente.

Mecanizar los rellenos es posible igualmente en capas horizontales con máquinas de relleno. Muchas citan los tratados de laboreo, entre otras, la Kreiselschleudes; pero esta máquina cara ha de usarse en

frentes de gran producción, ya que si no es antieconómica.

Del somero examen de las máquinas utilizadas para el arranque se deduce:

1.º Que las máquinas están proyectadas para las explotaciones y estudiadas para que sean económicamente utilizables.

2.º Que el martillo picador es el único medio de mecanización en capas verticales, salvo la posibilidad de emplear el cepillo.

3.º Que el transporte del carbón en el frente debe ser el clásico hasta ahora usado.

Muy rotundas parecen ser estas conclusiones y quizás poco alentadoras, pero en todo momento nos encontramos al tratar este tema con que *en las minas asturianas se trabaja en frentes cortos y con producciones por explotación de poca importancia.*

Y esto obliga a decir:

Si la posibilidad de la mecanización, aparte de las condiciones físicas, se basa en que sea rentable, y para esto es principio fundamental obtener una concentración del trabajo, ¿no debe ser éste, para llegar a la mecanización intensiva, el primer problema que ha de resolverse? Si esto se logra, es posible se encuentre algún medio de arranque o transporte en el frente ya conocido, o pueda adaptarse alguno de los usados a las especiales condiciones de nuestras explotaciones. Si económicamente no es prohibitivo, es seguro se buscará alguna solución más en consonancia con el ritmo de los tiempos.

Y robustece nuestro criterio examinar las disposiciones del extranjero para acometer la mecanización a fondo; tal, por ejemplo, Francia, en las minas de la cuenca del Norte y Paso de Calais, ha llegado a concentrar la producción en 1.502 explotaciones, en donde producen 2.200.000 toneladas mensuales, o sea 1.464 toneladas por mes y explotación. Como comparación, Duro-Felguera, con 268 frentes de trabajo, produce unas 140.000 toneladas mensuales, o sea 522 toneladas por mes y explotación. Aunque la cifra francesa no llega a las americanas, sin embargo, es tres veces superior a la española. Y las cifras francesas son del año 1947, y la concentración ha seguido como principio para lograr la mecanización.

De lo dicho nos permitimos señalar las siguientes conclusiones:

Conclusiones del apartado I

I.—Debe intensificarse la concentración del arranque en todas las explotaciones.

II.—Debe alargarse el frente de arranque en capas verticales (*Tajos diagonales*, trabajo del Sr. Suárez del Villar).

III.—Debe irse al frente largo o «long-wall» en las capas de menor inclinación a 30°.

IV.—Debe estarse al tanto de los ensayos de utilización de aire comprimido a gran presión o de la energía hidráulica para ayuda del arranque, así como debe ensayarse el explosivo Cardox.

V.—En relación con el arranque, supuesto obligado el uso del martillo picador, conviene estudiar a fondo este trabajo, evitando tiempos muertos y mala distribución de los mismos.

VI.—Debe estarse al tanto de los ensayos del cepillo en capas verticales.

VII.—Ante la posibilidad de la mecanización, debe estudiarse a fondo la utilización del aire comprimido, o sosteniendo la teoría actual de grandes unidades en el exterior o de pequeñas unidades en las cercanías del frente de arranque (trabajo del Sr. Rubio Herrero).

II.—AVANCE DE GALERÍAS EN ROCA

Dado el espesor de terrenos estériles en comparación con el del carbón, la mucha inclinación de las capas, etc., la vida y producción de una mina depende de la preparación ordenada y cuidadosa que se haga. Una explotación, y pongo por ejemplo la de Duro-Felguera, que produce unas 5.500 toneladas diarias, por siete pozos y siete minas de montaña, obliga a tener en conservación del orden de 200 kilómetros de galerías y 90 kilómetros de transversales y avanzar mensualmente 900 metros de transversal y 2.500 metros de guías.

Las rocas estériles son de distintas clases: pizarras flojas y duras, areniscas, calizas, pudingas, etc.

El 99 % de los trabajos en roca se hacen en Asturias utilizando martillos perforadores de 16 kilogramos de peso, de distintas procedencias, movidos por aire comprimido. La media normal de avance por jornada varía, según la clase de piedra, de 0,40 metros

al metro, en sección 4,40 a 5 m². La pega se da un poco a capricho del barrenista encargado de la labor. Se emplea dinamita goma o dinamita núm. 2, haciendo explotar el cartucho por encendido de la mecha. La carga se hace a mano (una pega da del orden de cuatro a cinco vagones, avance 0,50 metros), y las barrenas utilizadas son helicoidales o huecas, forjadas en la punta, con un solo corte o con cortes en cruz. Está poco extendida la perforación húmeda.

Los elementos utilizados en el extranjero son:

Para galerías de menor avance.—Martillos de columna o con apoyo regulable, cargadoras neumáticas, barrenas con bocas que llevan insertadas boca Widia.

Para galerías de más avance.—Martillos montados en aparatos especiales llamados Jumbo. Barrenas con bocas Widia, cargadoras neumáticas Duckbill que arrojan los productos en cintas transportadoras y paletadoras cargadoras.

Excepcionalmente hay alguna máquina de perforación continua, con la que se puede avanzar 1,50 metros hora. Es muy voluminosa y cara, y se están haciendo ensayos en el Ruhr e Inglaterra. Su precio (el prototipo) fué de 40.000 libras, y consideramos de momento no debemos pensar en esta máquina.

Los avances se hacen utilizando la inyección de agua. La pega es eléctrica y con detonadores de retardo. La disposición de los tiros se hace con arreglo a un plan previsto, casi de laboratorio, y se llega en algunos casos a proyectar luminosamente sobre plantillas, teóricamente calculadas, los barrenos y su dirección. Se emplean distintos sistemas de cuele y últimamente está en ensayo el «born-curt» o «corte quemado», que esencialmente consiste en fragmentar la roca con barrenos múltiples, unos con carga y otros que sirven de «salida» de la piedra.

En Asturias se han ensayado martillos de columna, jumbos, bocas Widia, inyección de agua y cargadoras neumáticas.

De los distintos ensayos parece deducirse:

1.º Que es bueno el resultado del martillo de columna, aunque consume mucho.

2.º Que el martillo con ajuste regable es del gusto del obrero y de buen resultado.

3.º Que no son aprovechables, por la dificultad de la adquisición de las barrenas y el mucho consumo de ellas, los Jumbos pesados (35 kilogramos por marti-

llo), y sí, en cambio, pueden dar buenos resultados Jumbos con martillos de 26 kilogramos.

4.º Que las bocas Widia son de excepcional resultado en rocas duras y no así en las blandas.

5.º Que si bien la inyección de agua disminuye el avance, es necesario usando las bocas Widia, así como es de imperiosa necesidad su adaptación para la lucha contra la silicosis.

6.º Que las cargadoras son de buen resultado, pero su empleo es antieconómico de emplearla sólo en un frente.

A estas particularidades hay que añadir una importante. El trabajo a dos relevos es difícil de conseguir en Asturias. La idiosincrasia del obrero hace que dos relevos avancen sólo los dos tercios más que uno solo.

A la vista de los ensayos, estimo que las conclusiones de la mecanización en la perforación deben ser las que se dicen; pero antes, por estar en contradicción con la mecanización, quiero citar, como curiosidad, el siguiente párrafo copiado de un informe oficial sobre el Ruhr: «En el Ruhr se traza un kilómetro de galerías para 330.000 toneladas de carbón y alrededor del 80 % de los trabajos en roca son hechos a mano, y parece hay una cierta corriente de opinión en favor de estos procedimientos, que, a pesar de su pequeña velocidad de avance, son más económicos que las máquinas.»

Conclusiones.—Propugnamos las siguientes:

1.—*Galerías de vía sencilla.*

Roca de mediana dureza.—Martillos a mano, con inyección de agua, o

Martillos de ajuste regable.

Barrena corriente.

Carga a mano.

Barreno de cuele; tiro por mecha.

Deberán calcularse la profundidad de los tiros, de tal forma que el ciclo de trabajo se realice en una tarea. Convendrá la utilización de dos barrenistas o martilleros y un vagonero por relevo.

Rocas duras.—Martillos de columna con inyección de agua.

Barrena con boca Widia.

Carga a mano, o con cargadora, de existir varios frentes cercanos.

2.—*Galerías de doble vía.*

Rocas de mediana dureza.—Martillos de columna con inyección de agua.

Barrenas corrientes.

Pega eléctrica.

Cargadora neumática.

Rocas duras.—Equipos Jumbo con martillos de unos 30 kilogramos de peso.

Bocas Widia.

Pega eléctrica.

Cargadora neumática.

En todos los casos debe procurarse:

a) Organización de dos relevos.

b) Barreno de cuele u otro sistema menos rutinario que el actual.

c) Enseñanza y preparación de equipos especiales de barrenado.

d) Ventilaciones enérgicas del frente.

III.—TRANSPORTE SUBTERRÁNEO

El transporte de los productos comprende:

El transporte por galerías principales.

El transporte por galerías secundarias.

El transporte por balanzas y planos inclinados.

Transporte principal.—El transporte debe hacerse por máquina eléctrica de «trolley», de acumuladores o de aceite pesado, según los lugares, circunstancias de ventilación y grisú, y adoptando el tipo que el estudio económico en cada caso particular aconseje.

Hay que tener en cuenta que en las galerías principales pueden y deben utilizarse los trenes para el transporte del personal.

En Asturias las locomotoras de «trolley» son las más usadas en los circuitos de entradas de aire, y las de aceite pesado se comienzan a usar en las galerías de retorno. Los tipos más extendidos son, entre las eléctricas, las de seis toneladas de peso, 13,2 Kw., con dos motores, dispuestos para trabajar en serie o paralelo. Desarrollan velocidades de 10 kilómetros a la hora y pueden transportar en contrapendiente 25 vagones, o sea 50 toneladas. Se emplean también para recorridos más cortos locomotoras de cuatro toneladas, de 8 Kw., igualmente con dos motores y capaces de transportar a contrapendiente 15 vagones. La tensión es de 250 voltios, y la transformación de al-

terna a continua se hace por grupos motor-dinamo o conmutatrices. Se está a punto de montar los primeros rectificadores de mercurio.

Las Diesel empleadas son de distintas marcas: Ruston, Husdwell, Demag, Locomotives, esto es, inglesas, alemanas o francesas. Sus potencias varían de 40 a 70 C.V. Todas ellas llevan dispositivo antigrisú y apagallamas.

Decidido ya por la práctica, y en el momento en que en el extranjero, concretamente Inglaterra, comienza a utilizar en gran escala las máquinas eléctricas o Diesel, pues hasta ahora predominaba el transporte por cable, dadas las condiciones de nuestras minas, creo debe extenderse al máximo este sistema de transporte principal. Este lleva como complemento:

- a) Buenas galerías de arrastre.
- b) Carril de, por lo menos, 16 kilogramos metro. Debe pensarse en utilizar el de 20 kilogramos.
- c) Pendientes propias para esta clase de tracción, que deberían ser objeto de normalización.
- d) Normalización de los tipos de locomotoras, con vistas a la fácil reposición.

Transporte secundario.—Hoy este transporte se hace en Asturias por medio de ganado (mulas o machos) capaz de arrastrar cinco a siete vagones vacíos o dos o tres de tierra a contrapendiente. El sistema de transporte está mal organizado, y con esto volvemos al concepto del primer apartado, o sea la diseminación de labores. Si, por ejemplo, tomamos una mina de Asturias que explote 1.000 toneladas diarias, esta producción se obtiene de no menos 50 explotaciones y de una red de galerías de no menos de 65 kilómetros. Estas 1.000 toneladas de carbón limpio suponen unos 1.700 vagones. Las cifras que suelen dar los libros de texto son de 140 a 180 tons/Km. por mula y jornada. Haciendo los oportunos cálculos, se obtiene que el número de mulas preciso es del orden de las 70 a 80.

Este número tan extraordinario de ganado no podrá ser disminuído más que disminuyendo los kilómetros que se han de recorrer, esto es, concentrando la producción en menor número de frentes. Sin embargo, este tema, tratado al hablar del primer punto, no tiene de momento solución; pero observando que el ganado se presta poco a una organización elástica, conviene sustituir esta clase de fuerza por otra que reúna tal condición.

¿Cuál podría ser? Propugnamos por la máquina

Diesel antigrisú, de 10 a 15 HP., capaz de sustituir, por velocidad y potencia, a unas tres mulas. Para su adaptación se precisará además buenas vías, exceso de material, normalización de pendientes. De esta forma se lograría un aumento de rendimiento, por haber menos jornales improductivos dedicados al transporte.

Desechamos por anticuados los sistemas de tracción por cable de cualquier tipo, así como el transportador por galería, no adaptable a las condiciones de Asturias.

Transporte por balanza y planos.—No admite dudas que la extracción por distintas plantas de un pozo supone una peor organización, ya que obliga a múltiples embragues en la máquina de extracción. Disponiendo comunicaciones interiores entre pisos permite concentrar el servicio en una o dos plantas a lo sumo del pozo de extracción.

De las múltiples soluciones que se conocen, nos inclinamos, por su robustez, economía, poco espacio y facilidad de colocación, por la balanza, y de los distintos tipos de éstas, por la automotora, capaz de servir con jaula de dos vagones, elevando tierra, madera y vacío y descendiendo el carbón.

No creemos eficaces los pozos maestros, por el gran desmenuzamiento de los carbones, que quizás pudiese evitarse disponiendo canales helicoidales; pero aun cuando esto se logre, queda sin resolver la subida de escombros y la madera.

En el extranjero se comienza a adaptar en balanzas el «skip», el que, con un motor de 45 HP. y «skip» de tres toneladas, transporta en una jornada 1.000 toneladas.

OTRAS CONSIDERACIONES.

Como conclusiones señalamos las que, a nuestro juicio, podrían adoptarse para una mejor organización del transporte.

Conclusiones al apartado III.

- 1.—Limitación de los pisos de extracción.
- 2.—Transporte principal por locomotoras eléctricas, Diesel o de acumuladores de potencia superior a los 45 HP. y de unas 6 toneladas de peso.
- 3.—Galerías principales, bien revestidas, con doble vía y con carril de 20 kilogramos, que consientan grandes velocidades.

4.—Transporte secundario por locomotoras Diesel o de acumuladores de 10-15 HP., con accionamiento por bielas y no por cadenas.

5.—Balanzas interiores para concentración del material en una o dos plantas de extracción.

6.—Material rodante en cantidad suficiente. En el Rhur, en el año 1947, había un número de vagones tal que podían contener el 70 % de la producción diaria.

7.—Normalización de pendientes.

8.—Posibilidad de aumentar la capacidad de los vagones, ya que así se logra simplificar el cargue, reducir el peso muerto para la misma carga útil, disminución del número de incidentes, y si esto no es posible, estudiar un tipo de vagón tal que cumpla al menos con la segunda condición.

9.—Estudio conducente a pensar en la necesidad de disponer talleres de reparación en el interior.

10.—Señales a lo largo de las vías principales y posibilidad de un mando central de movimiento.

11.—Para lograr una mayor elasticidad de las máquinas, empleo de pequeños cabrestantes de aire comprimido para el arrastre de los vagones al efectuar su carga, permitiendo que mientras ésta se haga la máquina se ocupe en otra función.

12.—Buenos anchurones, «relevos» o lugar para distribución del material en el final del transporte principal para su distribución a los transportes secundarios.

IV.—INSTALACIONES DE EXTRACCIÓN

A las profundidades que citamos no creo sea pertinente la adopción de otro sistema de máquina que el corriente de tambores cilíndricos o tronco-cónicos. Que la fuerza motriz sea la eléctrica no parece sea tema de discusión. Sobre si debe ser el mando Leonard, Ilgner o directamente acoplado, tampoco cabe discusión, ya que dependerá de las circunstancias la adopción de uno u otro. Actualmente los alemanes prefieren el primero y los ingleses y americanos el segundo.

Partiendo de que no es posible substituir las máquinas actuales, que las velocidades están de acuerdo con las profundidades a que se explota, creemos que la mecanización debe dirigirse sólo a los sistemas de enganche y desenganche.

Las instalaciones de Asturias, en general, son anti-

cuadas en este aspecto. Por no haber sido hasta los momentos presentes cara la mano de obra, no se ha prestado atención a este aspecto. Deben, pues, mecanizarse convenientemente los anchurones y la boca del pozo, y a este respecto señalamos lo que debería mejorarse, sin entrar en la descripción de los aparatos, que son de sobra conocidos.

En toda instalación de extracción debería tenderse a que, sin substituir las actuales máquinas, tuviese las siguientes características:

1.—Disminución de pesos muertos en jaulas, sin perjuicio de la seguridad.

2.—Eficaz disposición de señales ópticas, luminosas y telefónicas.

3.—En los enganches de interior, pendientes normalizadas, retenedor de vagones, empujador y enganchador automático, mandados por una estación central.

4.—En los enganches de exterior, pendientes normalizadas, empujadores y enjauladores automáticos.

5.—En los nuevos pozos, jaulas de varios pisos.

6.—Mando único de agujas, combinado con el sistema de atraque.

7.—Instalaciones inmediatas al pozo para obtención al menos de productos cribado y todo uno, a fin de disponer del material con rapidez.

8.—Vueltas de vacío con elevadores y pendientes automotoras.

9.—Reducción de las plantas de extracción.

10.—En los pozos de poca importancia, substitución de estos mecanismos por cabrestantes de aire comprimido o eléctricos.

11.—Finalmente, pues que no se puede limitar la extracción a una planta, difícil por las condiciones físicas de los yacimientos, se llama la atención sobre la doble máquina de extracción, por su elasticidad. En Asturias se conocen los resultados satisfactorios en el pozo «María Luisa» (Duro-Felguera), y aún se conocerán mejor cuando esta mina alcance su producción normal, pues hoy está en período de preparación. En Alemania, con esta disposición se han obtenido magníficos resultados.

V.—INSTALACIONES DE EXTERIOR

Las instalaciones de carga de carbones, descarga de madera y materiales, transporte de elementos de trabajo, dado lo elevado de la mano de obra, deben

mecanizarse, utilizando cualquiera de las múltiples máquinas que hay para estos usos. Debe intensificarse el empleo de cabrestantes, cables flotantes y disponer vías con pendientes automotoras para los servicios de lavaderos. En éstos deben instalarse tolvas de almacenamiento de los carbones, etc., etc.

Creemos reflejadas en las conclusiones de cada apartado la orientación que en relación con la posibilidad de la mecanización de las minas en Asturias

puede hacerse. Son ideas generales, ya que cada punto, para obtener una conclusión exacta, obliga a un estudio minucioso y detallado. Son conocidas de todos los Ingenieros que trabajan en Asturias las dificultades existentes y las soluciones que pueden adoptarse, y no creemos haber resuelto con este trabajo ninguna cuestión ni resuelto ningún problema, y sí únicamente hacer una ordenación de lo que es por todos tan sabido.

Las conclusiones merecieron la aceptación general, y se pasó a leer el trabajo siguiente n.º 157 de D. Ramón Rubio Herrero.

N.º 157. - Centrales de compresores en las minas de Asturias

Autor: D. RAMÓN RUBIO HERRERO

Ingeniero de Minas

I

El disponer en una mina de instalación de aire comprimido eficiente es de importancia decisiva para la buena marcha de ella, no sólo por el mejor o peor aprovechamiento de energía que se tenga, muy digno de ser tomado en gran consideración, al precio que ésta va alcanzando, sino, sobre todo, porque hasta hoy el aire comprimido es la fuerza motriz más generalizada en las minas españolas. De que se pueda disponer de ésta o no, en los frentes de trabajo, con la debida eficacia depende en grado máximo el rendimiento en los mismos. El Ingeniero de una mina tiene que estar continuamente resolviendo problemas relativos a esta rama de la técnica y sabe que de ello depende, en gran parte, el rendimiento de aquélla.

Todos los días se pueden ver algunos cuarteles de las minas, explotaciones aisladas, labores en roca, pozos o galerías que, sin motivos que a primera vista lo justifiquen, no dan la producción o el avance normal, y ello, en muchas ocasiones, es debido a la falta de buen funcionamiento de las herramientas neumáticas, ya sea por defecto propio de las mismas, que no es lo más frecuente y en todo caso se produce de un modo esporádico, o porque, como sucede en la mayoría de las

veces, falla la fuerza motriz; más concretamente: la presión del aire comprimido; sin que ello se pueda evitar por completo en todas partes, aunque se extremen la vigilancia y los cuidados —y dicho sea de antemano, creemos que nuestras instalaciones están en buenas condiciones bajo todos los aspectos—, debido a la naturaleza misma de esta clase de energía, tan acomodaticia, que por soportar aparentemente mejor la sobrecarga que la energía eléctrica, tiene mayor elasticidad de adaptación al incremento de trabajo que insensiblemente se le va exigiendo cada día, hasta tal punto que si no se ejerce estrecha vigilancia sobre el conjunto de estas instalaciones llega un momento en que, por insuficiencia de la central productora, por pérdida de carga en las redes de distribución o de volumen por fugas, se tiene, sin darse cuenta de ello, un verdadero derroche de energía, que no sólo no produce el trabajo deseado, sino que además sirve de desorganización y desconcierto en el complicado mecanismo que una mina representa.

Es muy fácil, a poco que se descuide la conservación de las redes, el llegar a obtener pérdidas por fugas del orden del 30 %, y hasta del 40 % o del 50 %, pues una sola fuga, sin ser muy grande, puede llegar a perder fácilmente medio m³ por minuto, y en la totali-

dad de las redes de las minas el número de fugas no es exagerado si no pasa de dos o tres por cada 1.000 metros de tubería como término medio, aun cuando su estado de conservación sea aceptado —téngase en cuenta que en las explotaciones propiamente dichas es elevada la proporción que de aquella hay instalada y que sufre muchos golpes por caída de piedras, movimiento de rellenos y de carbón, etc., por cuyo motivo el número de fugas que en ella se produce es muy elevado—. Las pérdidas de carga por rozamiento son también de gran importancia si no se lleva una rigurosa vigilancia de las secciones de tubería, con los correspondientes planos para las redes y el frecuente recuento de los gastos de aire, que deben hacerse por zonas, según las máquinas que deban alimentar. Consecuencia de todo esto es, que las centrales de compresores resultan insuficientes a poco que el personal técnico se confíe, y, que en los trabajos, no es raro encontrarse con presiones de 3,5 kilogramos y aún inferiores, con las cuales los martillos picadores y perforadores realizan un trabajo deficiente y resulta así disminuido en gran proporción el rendimiento y la producción de las minas. Ya hemos visto explotaciones en las que había una presión de 3,50 kilogramos y que al aumentarla a cinco hubo incremento de rendimiento del 25 %.

Por otra parte, es perfectamente de todos conocida la progresiva demanda de aire comprimido en las minas, vista la necesaria evolución que para elevar los rendimientos se impone, con el empleo de los sistemas modernos de trabajos mecanizados, en los que no pueden quedar las nuestras rezagadas si han de tener una organización técnica a tenor de la que los tiempos actuales reclaman, dentro, claro está, de las posibilidades de nuestra potencialidad industrial minera y de la exigua riqueza de nuestros yacimientos carboníferos. Indudablemente es misión de los directores de las minas el que el aire comprimido tenga el necesario aprovechamiento, y en todo momento deben estar pendientes de que su gasto no aumente de un modo indebido; pero tampoco deben escatimarle cuando observen que es necesario para la mejor marcha y mecanización de las labores.

En este orden de ideas de la mecanización por aire comprimido, podemos decir que el arranque del carbón está mecanizado en esta cuenca minera asturiana de Langreo casi en su totalidad, y que si no lo está del todo es porque hay algunas capas blandas en las

que no es necesario. El empleo del «conveyor» para el transporte del carbón dentro de las explotaciones propiamente dichas se intensificará en el plazo de unos años, porque al tenerse que ir explotando cada vez a mayor profundidad, la existencia de fondo de sinclinales se hace más frecuente, con los consiguientes tramos de capas de poca inclinación, en los cuales el movimiento del carbón no podrá hacerse fácilmente por gravedad, y no habrá más remedio que emplear aquéllos con más frecuencia, ya sean de sacudimientos, de raquetas o de cintas transportadoras. De los primeros, en algunas ocasiones hubo que emplear ya algunos, y de los últimos, nos proponemos montar otros en plazo relativamente próximos. Estas máquinas tienen un gasto de aire muy elevado, el cual depende de la pendiente y longitud. En las labores de perforación, hasta ahora se utilizaban martillos perforadores de 13 a 18 kilogramos de peso como máximo, que tenían un consumo de menos de 2.000 litros. En la actualidad, se emplean ya perforadoras de columna con martillos de 35 y 40 kilogramos, empezándose también a trabajar con la máquina llamada Jumbo, que monta dos martillos de 45 kilogramos, con un consumo aproximado cada uno de unos 4.000 l. y pensamos ir pronto a la de cuatro. En la carga de tierras, que siempre se hizo a mano, se ha comenzado a ensayar la cargadora mecánica, que tardará lo menos hora y media en cargar el escombro de una galería en roca de sección corriente, con un gasto de 4.000 l/min. El más rápido avance de las preparaciones, galerías en roca citadas, que con estos sistemas nos proponemos obtener, agudiza el problema de las ventilaciones secundarias al producirse «pegas» más intensas con mucha mayor cantidad de humo, que debe ser expulsado en el menor tiempo posible para que pueda empezar a trabajar otro relevo en la labor, contribuyendo, en suma, con el aumento de nuevos ventiladores en número y potencia a la importante elevación del consumo de aire comprimido, que, por todos estos factores que acabamos de analizar, debemos prever para porvenir no lejano.

En Duro-Felguera —creemos que en el resto de las importantes Empresas mineras de esta cuenca este dato será muy aproximado— se consumen al mes 24.000.000 de m³, que resultan a 170 m³ por tonelada de carbón explotada. En las minas mecanizadas con aire comprimido en el Norte de Francia, el consumo era en 1940 de 140 m³ por tonelada como término

medio, de 110 a 120 en las capas verticales y de 150 a 170 en las de pequeña inclinación; gasto que, como puede observarse, es bastante semejante al nuestro, si se tiene en cuenta que, aunque tenemos pocas capas poco inclinadas, las hay en gran cantidad muy estrechas y duras, con lo cual aumenta en gran proporción el gasto de aire en los martillos picadores. Hoy se calcula en 500 m³ por tonelada el consumo teórico de una explotación moderna, de capa de pequeña inclinación inferior a 10°, mecanizada al 100 % con aire comprimido en rozadora, «duckbil», «conveyor», cargadora, etc. En Lorena se llega ya prácticamente a los 508 m³/toneladas. En el Ruhr, en cambio, que se ha hecho la electrificación de todos los trabajos de interior posibles, dicho gasto no es más que de 30 m³, de donde la gran importancia que tiene el electrificar y de lo cual hablaremos después. En Inglaterra, donde sólo se arranca con martillos picadores el 10 % de la producción y el resto con rozadora eléctrica, se consume por dicha causa menos aire comprimido, merced también a que la proporción de labores en roca es muchísimo menor que aquí, ya que las preparaciones se hacen, en la inmensa mayoría de los casos, dentro de las capas mismas, teniendo que llevar cortados pequeños espesores de las rocas encajantes, al ser mayores los de carbón que en nuestros yacimientos y baja la inclinación, no superior, en general, a los 10°.

II

Es un asunto éste de la electrificación, que de paso hemos tocado, de enorme trascendencia para el porvenir de las minas y sobre el que vamos a decir unas palabras, aunque ello suponga apartarnos por un momento del tema fundamental de este trabajo, si bien no deja de tener estrecha relación con él, puesto que, en resumidas cuentas, el problema de fuerza motriz en el interior de las minas se trata en ambos.

Traduzcamos los datos de consumo de aire comprimido de que hemos hablado anteriormente a sus equivalentes de energía eléctrica. En las instalaciones de Duro-Felguera, por cada Kwh. tenemos 11 m³ de aire aspirado por los compresores.

En las minas mecanizadas del Norte de Francia la producción de aire comprimido era de 10 m³ por Kwh. antes de la guerra. Como en el Ruhr el consumo

de aire comprimido era solamente de 30 m³ por tonelada extraída en aquella fecha, porque ya habían electrificado en gran parte los servicios mecánicos del interior, el consumo de energía eléctrica que puede considerarse como tipo para una mina regularmente electrificada, tomando la cifra dada para las minas francesas de 10 m³ por Kwh. y un gasto similar de 30 m³ por tonelada de carbón de las del Ruhr, sería tan sólo de tres Kwh. por tonelada para aire comprimido, al que habría que sumar lo referente a fuerza motriz eléctrica propiamente dicha del interior —en substitución de la del aire comprimido suprimida—, que era de 1,5 Kwh., o sea en total 4,5 Kwh, contra 14,5 que gastamos nosotros, con una diferencia en contra de 10 Kwh. por tonelada explotada.

Claro que nuestras minas se prestan mucho menos para esto por estar la explotación muy poco concentrada, y serían necesarias grandes cantidades de cables, que en las minas antiguas de largos recorridos de galerías, tales gastos de instalación no compensarían; pero en los pozos nuevos es muy distinto: en ellos creemos que la electrificación tendría mucho interés, y para ello nos fundamos en lo siguiente.

En mediciones hechas en una mina, donde la red de distribución estaba en muy buenas condiciones, deducimos que las pérdidas de potencia por rozamiento en las tuberías era del 13 % y por fugas del 21 %, por lo que podemos considerarlas, aunque se trate de un caso, según es éste, favorable para el aire comprimido, como tipo de comparación con las que se obtienen por término medio de una conducción eléctrica de mina, y establecer el siguiente cuadro, tomado para los datos eléctricos, de la *Publication des Etablissements Merlin et Gerin-Grenoble*, en el número A-49 *L'Electricité au Fond de la Mine*:

	Rendimiento de los generadores		Rendimiento del transporte — Fugas Presión		Rendimiento de transforma- ción en energía mecánica		Rendimiento global
Aire compri- mido	0,70	×	0,68	×	0,23	=	0,11
Electricidad.	0,90	×	0,90	×	0,85	=	0,69
							1
							6

en números redondos, y en un caso verdaderamente excepcional a favor del primero. Generalmente esta cifra es del orden de 1/10 o algo menor.

En el cuadro que sigue se compara el coste de la instalación de aire comprimido de un pozo minero, el

del «Fondon», de la Sociedad Duro-Felguera, por ejemplo, incluyendo compresores y red de tuberías, con el que hubiera tenido la instalación eléctrica para transportar a los frentes de trabajo la misma cantidad de energía disponible, que, según acabamos de ver, será a bocamina 1/6, en caso muy favorable, de la que ahora se precisa para accionar los compresores.

Importe de la instalación de aire comprimido del pozo Fondón

	PESETAS
Importe de 24.000 metros de tuberías de distintos diámetros... ..	1.723.139,—
Importe de varios depósitos de aire comprimido...	75.528,—
Importe de compresores con una potencia de 1.200 CV. (precios actuales de los ingleses)...	1.675.000,—
<i>Suma total</i>	3.473.667,—

Importe de la instalación eléctrica para una potencia de 1.200/6 = 200 CV.

	PESETAS
24.000 metros de cable de varias tensiones y diámetros... ..	1.340.000,—
14 transformadores y aparatos	280.000,—
<i>Total</i>	1.620.000,—

Se deduce a la vista de estos datos que si bien hay relativamente poca diferencia entre el coste de cables y tuberías, con sus accesorios, existe a favor de la instalación eléctrica, además de la gran economía del importe de los compresores, sin tener en cuenta el menor de las subestaciones de transformación, que había de ser de 1/6 de capacidad que las de los compresores.

Si a esto se añade la enorme economía que al cabo de los años representaría el haber tenido 1/6 del consumo de energía —seguimos hablando de un caso muy favorable para el aire comprimido—, es a todas luces evidente, desde el punto de vista económico, la gran ventaja que se tendría al sustituir el aire comprimido, de pésimo rendimiento como fuerza motriz, por la electricidad en el interior de las minas.

Esta evidencia de la rentabilidad de la electrificación está admitida universalmente y por ello se va a ritmo acelerado a implantarla en todos los países eminentemente mineros. En el Ruhr ya hemos visto que

se gastaban hace unos años solamente 30 m³ por tonelada. En la cuenca del Loira la potencia eléctrica instalada en los trabajos de interior, sin contar el desagüe, era en 1940 de 1.200 CV. y en 1950 de 5.000. En la del Norte de Francia y Paso de Calais, que en 1946 era de 4.000 KVA., en 1952 será de 32.000.

Desde el punto de vista de la seguridad con respecto al grisú, será difícil poder hacerlo en Asturias, hoy por hoy, porque nuestro exclusivo sistema de arranque mecánico es el martillo picador, que no podremos substituir fácilmente dada la naturaleza de nuestras capas y que el problema del martillo eléctrico está por resolver. Limitémonos por lo tanto a dejar aquí sentada la pugna que, más tarde o más temprano, no dejará de plantearse entre ambas clases de energía, para generalizar su empleo en las minas de Asturias, ya que no es éste el objeto del presente estudio. Nuestra opinión es que la electricidad terminará por imponerse, si no desplazando totalmente al aire comprimido por completo, por la cuestión de seguridad citada, si en elevada proporción, bien porque se haya evolucionado en los sistemas mecánicos de arranque y perforación, el martillo picador eléctrico que ya se ensaya hace tiempo por algunas casas constructoras puede llegar a ser una realidad, si se le protege convenientemente contra el grisú, así como la rozadora en capas verticales y el «rabot», máquina arrancadora, esta última, muy discutida y sometida a infinidad de pruebas actualmente con buen éxito al parecer, la cual va provista de cuchillas, cuyo funcionamiento es similar en principio al del cepillo de carpintero, para el arranque del carbón, y a la que se transmite el movimiento y esfuerzo por medio de cables accionados por cabrestantes que, al tener que ser de bastante potencia, seguramente convendrá que sean eléctricos, o aunque no sea más que para la distribución de energía por los diversos frentes de trabajo en sustitución de la tubería, instalando pequeños compresores en las proximidades de aquéllos, según hemos presenciado en las minas inglesas, sistema que elimina en gran parte las grandes pérdidas que el aire tiene en la conducción, como ya hemos visto, que pueden ser del orden del 30 %, o bastante más, entre fugas y presión.

Como quiera que sea, lo consideramos lejos aún de poderlo realizar aquí por la severidad de nuestro Reglamento, y por ello juzgamos de más interés en el

momento presente, para el mejor aprovechamiento de la energía en las minas de carbón asturiano, el asunto que es objeto de este estudio: el de las grandes centrales de compresión.

III

Antes de pasar a tratar de éstas, y con el fin de poder establecer las debidas comparaciones que nos permitan deducir las consecuencias prácticas que, en definitiva, son las que interesan para su posible aplicación en la industria minera del carbón en España, vamos a empezar por el análisis de las centrales de compresión de que disponemos actualmente en Langreo, su capacidad, rendimiento, coste de producción y organización.

En la Cuenca Minera Asturiana lo corriente es que cada mina tenga su central de compresores, si se trata de pozos, o varias, en distintos pisos, si son de montaña. Ello es obligado, dentro de la organización actual, con objeto de tener el aire comprimido lo que se llama a bocamina y evitar el gasto de tuberías y pérdidas correspondientes.

Hay, como es de suponer, toda clase de centrales en cuanto a capacidad, estado de conservación, rendimiento y época en que se instalaron. Suelen ser pequeñas y viejas las de los pisos de las minas de montaña, que quedan ya en muy pequeña proporción, cuya explotación es la más antigua, y modernas y de bastante potencia, para lo que es nuestra minería, las de los pozos importantes, como las de Mosquitera y Fondón, por ejemplo, con 1.450 CV. instalados la primera, 1.895 la segunda y 204,90 y 261,40 m³ de aire por minuto, respectivamente (en la última hay varios compresores antiguos que se desmontarán).

Como es natural, hay toda clase de compresores, menos turbos, de tipos correspondientes a las épocas en que se pusieron en funcionamiento, desde alguno de un solo pistón o de compresión monofásica, hasta otros de los últimos modelos de los émbolos en V, e incluso rotativos de paletas. Los más corrientes, a base de dos cilindros para compresión bifásica con refrigerante intermedio, que es el sistema «compound» universalmente adoptado para los compresores de pistón empleados en las minas, llevan éstos horizontales

y paralelos generalmente, como los Chicago, Worthington y Flottmann; hay también bastantes que los llevan en ángulo recto, los cuales denominamos en «escuadra», de Ingersoll o Sullivan, y en V, según ya queda hecha mención, de esta última firma. Las potencias varían en general de 125 a 500 CV. El mayor que conocemos en la cuenca de Langreo es un Sullivan en escuadra de 600 CV.

De lo dicho se desprende que queda muy poco de material antiguo que habrá que substituir, y que predomina en gran proporción el moderno, de todas las marcas y con los últimos adelantos, de los que citaremos algunos después. Entre los compresores de pistón instalados más recientemente, los hay con los dos cilindros colocados paralelamente en un mismo plano horizontal, como hemos expuesto, que son voluminosos y poco revolucionados; alguno, como el Worthington de 525 CV., no da más que 187 r. p. m. Estos tienen el inconveniente de ocupar mucho espacio, inconveniente que no deja de tener su importancia en el aprovechamiento del que se tenga disponible en los edificios de las minas, pero ofrecen la gran ventaja de ser máquinas de gran duración; les siguen en número de revoluciones los Ingersoll en escuadra con 334, que ocupan aproximadamente la mitad y tienen unas fundaciones mucho más simplificadas, y por último, los en V, con 600 y menor espacio ocupado todavía; sin embargo, en todos éstos la velocidad lineal del pistón varía muy poco, sin relación a las revoluciones, pues mientras en el primero es de 3,32 mts. por segundo con 19" de carrera, en los segundos es de 3,22 mts. con 13" y en los últimos de 3,56 mts. con 7", lo que quiere decir, aunque se trate como en este caso de potencias distintas, que la tendencia más moderna es aumentar las revoluciones, disminuyendo la carrera, concediendo de esta manera la preferencia a la reducción del volumen y el peso de los compresores a expensas de su duración y mayores riesgos de averías, disminuidos por otro lado gracias al empleo de aceros especiales de alta calidad que permiten la construcción de piezas más resistentes que hace unos años, en que se consideraba prudente no sobrepasar la velocidad de los 3 mts., aunque ha de observarse que los de cilindros horizontales aún siguen poco revolucionados para evitar los efectos de ovalización producidos por el peso del émbolo sobre su pared, efectos que que-

dan evitados en los cilindros verticales y atenuados en los inclinados de los compresores en V.

Tenemos algunos compresores rotativos; ocupan poco espacio, pero son más delicados, y para el trato duro que llevan en las minas y la menor práctica de manejo que de ellos tenemos, los de pistón nos resultan de marcha más segura, hasta el extremo que hay algunos de éstos que llevan veinte años trabajando y se encuentran en perfectas condiciones de funcionamiento, casi como el primer día, siendo además poco frecuentes en ellos las averías, la mayor parte de válvulas, que quedan fácilmente resueltas si se dispone de recambios de las mismas.

En lo que respecta a seguridad de marcha, los modernos compresores de pistón son, pues, máquinas perfeccionadas que no habría que pensar en sustituir, si otros factores o razones, que más adelante estudiaremos, no lo aconsejaren en los casos especiales que se pueden presentar.

Contribuyen en gran manera a su seguridad y perfeccionamiento los dispositivos de lubricación y regulación de que están provistos. No vamos a entrar en la descripción de estos aparatos, que sería interminable, porque cada casa constructora los tiene diferentes —los cuales pueden verse con todo detalle en los distintos catálogos—, y además nos separaríamos del carácter exclusivamente crítico de este trabajo; sólo citaremos el aparato Mercoid, por ejemplo, puente eléctrico o interruptor de mercurio, muy empleado en infinidad de compresores, tanto para accionar las válvulas de regulación del aire, como de dispositivo de seguridad en la circulación de aceite, el cual pro-

duce la parada del motor en el caso de que ella se interrumpa; las válvulas llamadas válvulas «piloto» que accionan a su vez a otras tipo «Clearance», en algunos llamada de «bolsillo», para la regulación del volumen a comprimir, consistente en varias cámaras, adicionales de espacio muerto que dichas válvulas conectan con el interior del cilindro a fin de que se comprima en aquéllas el aire cuando la capacidad del compresor haya de quedar disminuída y que según el número de las que se comuniquen, así se reducirá el gasto; y en fin, la gran variedad de aparatos de regulación y seguridad, dispuestos generalmente en los más modernos con «relés» para el mando eléctrico de observación desde el cuadro adicional de que van provistos todos ellos, que dan, como decimos, una perfección de funcionamiento que verdaderamente llama la atención y parece muy difícil de superar.

Además de estos comentarios sobre los compresores de que disponemos, no estarán de más algunas palabras sobre informaciones que tenemos relativamente recientes, de diferentes tipos.

Siguen fabricándose los antiguos sistemas Duplex americanos de dos cilindros paralelos horizontales, poco revolucionados, de 180 a 200 r. p. m., que cuentan con muchos partidarios porque no cabe duda que ello constituye una garantía de gran duración, supuesto además que por ser forzosamente de mayor carrera, su rendimiento volumétrico debe ser mayor, como es sabido, y así es en efecto por lo que se desprende del siguiente cuadro comparativo que hemos podido hacer con los datos de la información a que hemos hecho referencia, todos de compresores americanos.

	Duplex	Otro Duplex,	En escuadra	Radial doble 8 cilindros	En ángulo 4 cilindros
Dimensiones cilindros en "	30 — 18 × 21	30 — 18½ × 19	26 — 16 × 13	14½ — 83 × 7	18½ — 11½ × 8½
En m/m.	762 — 457 × 533	762 — 470 × 483	660 — 406 × 330	328 — 222 × 178	470 — 292 × 216
Desplazamiento pistón l/min.	87.000	87.500	75.000	90.560	74.400
Aire aspirado l/min. ...	76.560	75.700	63.000	77.790	62.200
Presión efectiva en kgs.	7	7	7	7	7
Rendimiento volumétrico en %	88	86,5	84,5	85,9	83,6
Velocidad en r. p. m. ...	187	200	334	600	500
Velocidad pistones ...	3,32	3,22	3,67	3,56	3,60
Potencia absorbida en el eje en CV.	500	482	423	525	400
Potencia para 1 m³ mi- nuto, de aire aspira- do, en el eje motor ...	6,55	6,37	6,70	6,75	6,40

Observemos que las carreras —números que llevan el signo X delante, en la horizontal de dimensiones, son menores en los de escuadra que en los Duplex y mayores que en los radiales o en V, como es natural, dependiendo del número de revoluciones, que en los radiales es de tres veces la de los Duplex, con lo que resulta una velocidad del pistón muy aproximada en todos ellos. Parece también natural que la potencia consumida por m^3 de aire aspirado fuera menor en los Duplex que en los demás, porque son los que tiene mayor rendimiento volumétrico; ahora bien, en los modernos en V o radiales, las masas en movimiento, aunque sometidas a más cambios de sentido de marcha, se encuentran mucho más equilibradas y son de menor peso, por lo cual estimamos que en los Duplex el rendimiento mecánico es menor y rebaja el total de éstos, resultando en resumen que no hay mucha diferencia para este último entre los distintos tipos, de acuerdo con lo que expresan las cifras consignadas en el cuadro, siendo únicamente el Duplex de 482 CV. el que parece destacarse en el rendimiento total y el Duplex de 500 CV. en el volumétrico.

Tenemos datos de algunos compresores de pistón europeos también, aunque más incompletos. En general, parece que en Europa hay más tendencia a construirlos con los dos cilindros verticales para contrarrestar los efectos de ovalización y hacer que ocupen menos espacio, pues de tres Casas que tenemos información para tipos de 500 a 600 CV., las tres la dieron de máquinas de este sistema. El rendimiento volumétrico de una de ellas es más bajo —del 81,7— que el de las americanas; de las otras no lo tenemos, pero la potencia necesaria por m^3 de aire es de 6,95, 7,10 y 7,45 CV. en cada una de ellas, es decir, bastante más elevada en estas dos últimas que en las de aquéllas.

Ultimamente hemos recibido un compresor moderno inglés, Sentinel, de Alley Maclellan, con los dos cilindros verticales también, de 333 r. p. m., 85 m^3 /min. y 575 CV., en el que la potencia por m^3 es, por consiguiente, de 6,76 CV., y su rendimiento total similar al de los americanos.

IV

Quédanos por añadir lo referente a la manera de estar organizadas nuestras centrales de compresión, a

fin de tener base de comparación con las de grandes unidades de que vamos a tratar.

Lo mismo que dijimos de los compresores, podemos decir de éstas: que las hay de importancia muy varia; desde la más modesta de los pisos de las minas de montaña o de algunos pozos pequeños, hasta las de 1.500 CV. Todas tienen en principio la misma organización, con personal al cuidado de ellas que en la mayoría de los casos proviene del que en las minas se ha inutilizado por accidente del trabajo, lo que pese a lo altruista y humanitario del sistema, no deja de ser, a excepción de contados casos, un procedimiento rudimentario de llevarlas en cuanto a lo que pudiéramos llamar su directriz técnica, porque si bien la marcha ordinaria está bastante bien garantizada con la revisión y reparación de los compresores por el personal mecánico de los Grupos mineros, que dicho sea en su honor, los conocen perfectamente y tiene suficientemente instruido a este personal a cuyo cuidado están encomendados, con sencillas normas en cuanto al engrase, cargas que han de tomar, reparaciones elementales, operaciones de limpieza, etc., es indudable que, para aquellas centrales importantes, que lo han de ser bastante más en el plazo de pocos años, esto no basta y cuidados técnicos de más alta calidad se imponen, los cuales deben ser entregados a personal que no desconozca los principios fundamentales del aire comprimido, porque haya realizado algunos estudios sobre él, como, por ejemplo, el que se forma en las Escuelas de Mecánicos y Electricistas de esta cuenca asturiana; personal a quien se podía encargar de sacar las curvas de carga, los diagramas de compresores, de hallar los rendimientos de éstos, medir las fugas, etc., sin que ello tuviera que estar pendiente de un servicio central de aire comprimido, como el que desde hace unos cuantos años tenemos establecido en Duro-Felguera, que nunca podrá atender con tanta asiduidad un número tal de compresores y redes como el que tenemos funcionando, a no ser que se aumenten en gran escala sus cuadros de personal, lo que resultaría en fin de cuentas antieconómico.

La capacidad de las centrales de compresión, claro es que depende de la importancia y naturaleza del yacimiento y de la instalación, de su producción, del grado de mecanización que se tenga en los trabajos con aire comprimido, e incluso de las variaciones de

consumo según el máximo a que se precise llegar, y que es muy variable de unas a otras horas.

Adjuntamos gráficos (fig. 1) de los gastos de aire

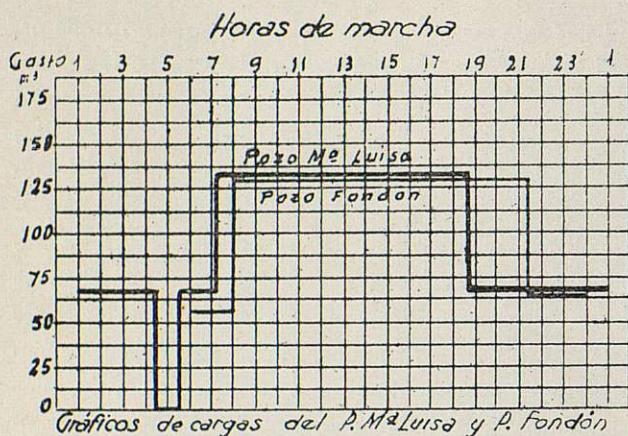
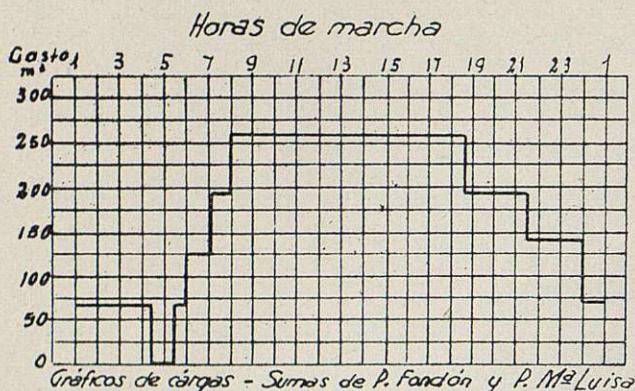


Fig. 1

obtenidos en dos minas, de las más importantes de la cuenta de Langreo, que son los Pozos del Fondón y María Luisa, donde ya se ve hay grandes variaciones, desde unos 55 m³ en el Fondón de las 6 a las 8, hasta 130 desde dicha hora hasta las 21 y 1/2, descenso después a 60 a las 24, y muy semejantes en el de María Luisa, con la diferencia de que en éste sólo paran los compresores de 4 y 1/2 a 5 y 1/2; más otro totalizado de los dos, en el que puede observarse cómo las variaciones resultan escalonadas hasta llegar al gasto de 260 m³ desde las 7 y 1/2 a las 18 y 1/2, hora en que empieza a descender escalonadamente también. De la necesidad de cubrir este máximo, bien sea con potencia suficiente en la central o rebajándolo para que la curva de gastos se aproxime todo lo posible a la línea horizontal, ha-

blaremos más detenidamente al tratar de las centrales de grandes unidades.

Para darse idea de la importancia que tiene en una Sociedad como la Duro-Felguera el conjunto de las centrales de compresión, considérese que el gasto total de todas ellas es de 1.065 m³ por minuto, la potencia eléctrica instalada 8.222 CV., el consumo eléctrico mensual 2.046.500 Kwh., y por tonelada producida, 14,50, que viene a representar el 44 % del consumo total.

Para terminar con las centrales actuales nos falta dar unas cifras del coste que ellas suponen por tonelada producida en las más importantes, con arreglo a los siguientes datos:

Gastos de energía por tonelada de carbón producida...	5,73
Vigilancia	0,23
Engrase	0,10
Reparaciones y repuestos	0,13
Total	6,19

Para amortización y refrigeración, capítulos muy variables de unas instalaciones a otras, puede, sin temor a error de consideración, redondearse la cifra en 6,50 pesetas, y como hemos dicho que se consumen 170 m³ por tonelada, el coste del m³ de aire resulta a 0,038 pesetas, dato importante que habrá de servirnos de base para su comparación con el de las centrales de grandes unidades, de las cuales pasamos a hablar.

V

Entrando ya de lleno en la parte que consideramos esencial de este trabajo, examinaremos las posibilidades de concentración de las dos centrales aludidas en una sola, con ampliación de su capacidad que en pocos años juzgamos que podría ser absorbida, más la correspondiente a otras dos importantes vecinas empresas, «Carbones Asturianos» y «Carbones de La Nueva» —pues para la mejor organización interesaría que la potencia a instalar fuera cuanto más alta mejor—, amén de algunas otras también cercanas, para todo lo cual entendemos que no resultaría exagerado calcular un gasto total de 1.000 m³ aspirados —vistas las circunstancias de aumento de consumo que prevemos— a dar por dicha única central de compresión, que desde luego tendría ya que ser de grandes uni-

dades, porque su potencia andaría por los 8 ó 9.000 CV., y repartir entre todas las empresas con financiación proporcional al consumo de cada una o como explotación independiente, vendiéndoles el aire comprimido, que ambas modalidades y otras cabría estudiar desde el punto de vista financiero, sobre el cual no vamos a insistir, concretándonos al técnico, que es el que a nosotros interesa.

Con esta capacidad de 1.000 m³ para una producción aproximada de 4.000 toneladas diarias, corresponderían de momento unos 240 m³ por tonelada, equivalente al 141 % del consumo actual. Lo más seguro es que la producción de carbón sobrepase dentro de algunos años esta cifra, al nuevo ritmo de las preparaciones, y el margen de capacidad que por esta razón damos a la central quedaría fácilmente absorbido, reduciéndose de este modo de nuevo las cifras antes dichas en alguna proporción.

Vista la elevada potencia a qué en nuestro caso habría que llegar, todo aconsejaría estudiar a fondo la conveniencia de instalar turbos, máquinas muy interesantes, del empleo de las cuales a renglón seguido pasamos a ocuparnos antes de entrar en el estudio a fondo de la cuestión, porque en España son poco conocidas en su aplicación a las minas y creemos que será un beneficio para la industria nacional el vulgarizarlas en este aspecto a fin de que empiecen a tomarse en consideración para futuros proyectos.

IV

Expuesta, siquiera haya sido a grandes rasgos, la idea de la central de compresores centrífugos, debemos decir algo sobre sus crecientes aplicaciones en el día.

En la fig. 2 damos el gráfico del incremento que han ido tomando los de la «Brown Boveri», que es de la única de que disponemos de este dato, desde 1930 al 1945 (1).

- La curva *a* se refiere al número de compresores.
 » » *b* » » al volumen aspirado.
 » » *c* » » a la potencia en el acoplamiento.

El aumento ha sido, según se ve, muy importante y la potencia por unidad resulta a un promedio de

(1) Revista *Brown Boveri*.

2.140 Kw.; quiere decirse, muy elevada para las corrientes en los compresores de pistón.

Salta así, a primera vista, la característica principal del empleo de los turbos: la de que se aplican siempre para grandes potencias; como mínimo, por los datos que tenemos de varias Casas constructoras, para 10.000 m³/h., 166/min., que viene a representar una potencia de 1.300 CV., y como máximo de 130 a 135.000 m³/h., 2.170 a 2.250/min. y 17 a 18.000 CV. No se construyen en general más pequeños porque se cree que serían de deficiente rendimiento, aunque la «Brown Boveri» y la «Demag» los construyen ya de hasta 75 u 80 m³/min., o sea de 4.500 a 4.800 m³/h., y aseguran lo tienen aceptable a pesar de su pequeño gasto.

Damos un gráfico de la revista de la «Demag» *Realización y Progreso* (fig. 3), en el cual se indican los

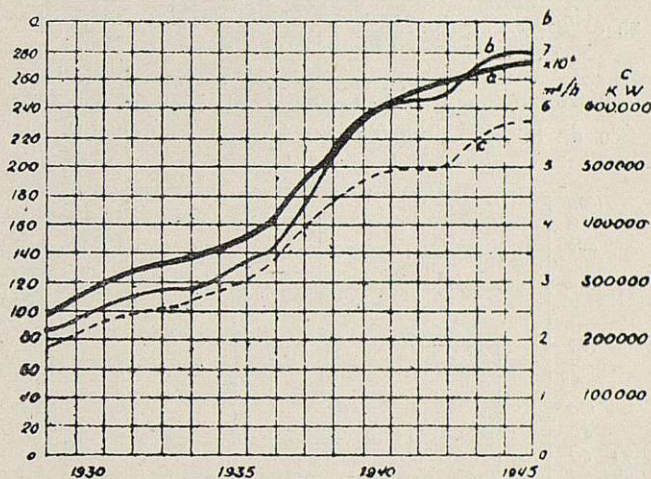


Fig. 2

campos de aplicación de cada una de las clases de compresores, que por la gran utilidad práctica que puede tener nos ha parecido conveniente dar a conocer a nuestros lectores. En él se puede observar lo que hemos dicho.

Se emplean cada día más para los grandes gastos y presiones de hasta 10 Kg./cm² absolutos, porque se encuentran en ellos las ventajas siguientes sobre los de pistón:

- El espacio que ocupan es mucho menor, sobre todo en grandes capacidades.
- Mayor sencillez de funcionamiento por no tener válvulas, que son más propensas a averías.

c) Son menos costosos, como igualmente los motores, que pueden ser más revolucionados.

d) Producen el aire comprimido más frío y seco.

e) Su lubricación es más sencilla y necesitan por ello menos vigilancia, aunque con los procedimientos automáticos modernos de parada en caso de avería en ésta, dicha propiedad pierde importancia. El consumo de aceite es mucho menor.

f) Necesitan fundaciones menos importantes, porque además del menor espacio que ocupan, carecen de trepidaciones.

g) El aire comprimido está exento de aceite y el peligro de explosión no existe.

En cambio, presentan otros inconvenientes importantes:

a) Que su rendimiento es menor, cuando no se trata de elevadas potencias, porque si se llega a los 1.000 m³/min., 7.000 a 8.000 CV., entonces ya alcanza el 70 %, equiparándose e incluso superando a los de pistón.

Normalmente es del 62 al 65 %, pero por el gráfico de la fig. 2, vemos que ha ido en aumento, se-

b) Si el gasto está sujeto a variaciones importantes, se produce en ellos el fenómeno del «pompaje» —de ordinario cuando desciende por debajo del 60 % del de régimen—, que aunque por dispositivos especiales pueda evitarse, es a costa de cierta pérdida de energía, con disminución del rendimiento en todos los casos.

c) En vacío absorben una potencia del 40 %, siendo por estas razones necesario que tengan un funcionamiento continuo, si se quiere conservar buen rendimiento, con más del 60 % de la carga máxima.

En resumen, podemos concluir de esta suerte:

a) Para gastos inferiores a 1.000 m³/min. los compresores de pistón tienen mayor rendimiento que los turbos y deben ser preferidos, aunque sean más caros, cuando el precio de la energía sea alto, si otras razones especiales no aconsejan lo contrario.

b) Deben ser igualmente preferidos los de émbolo, siempre que haya variaciones de alguna consideración en el gasto, porque en ellos el rendimiento permanece sensiblemente constante ante tales variaciones si no son demasiado grandes, y en los segundos no.

c) Para gastos constantes y superiores a 1.000 m³/min., el turbo-compresor tiene su óptima aplicación y debe ser preferido para las grandes instalaciones porque es menos costoso en sí, en edificios, fundaciones y gastos de primera instalación en general, da el aire en mejores condiciones de utilización, es de marcha más segura y consume menos aceite. Si el coste de energía es bajo, pierde importancia el rendimiento y puede irse al turbo en capacidades menores.

Como quiera que el rendimiento del turbo es más constante que el del compresor de pistón si el gasto se mantiene dentro de los límites apuntados, supuesto que en éste hay más desgaste y dificultad de puesta en punto en sus mecanismos que lo hacen descender, puede ocurrir que en alguna comparación práctica, como en una que hemos visto en la Agenda Dunod, se lleguen a deducir datos no muy de acuerdo con lo que acabamos de decir, y ello hay que atribuirlo al desgaste, a que las válvulas no están del todo bien reguladas o al deficiente ajuste del pistón y segmentos, etc.; por esta razón nos explicamos la exactitud de la comparación aludida, que la da-

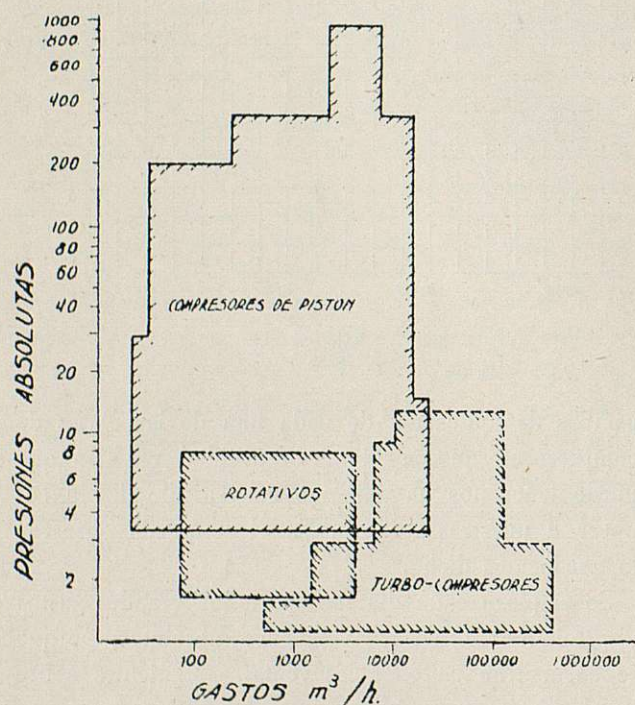


Fig. 3

gún indica la creciente separación de las curvas b y c, hasta el año 1941.

mos, en parte, a continuación por creer que por lo demás no deja de tener interés.

Compresor de pistón de 55 m³/min.

R. p. m.	219
Temperatura de aire en la aspiración del cilindro de baja	14° C.
Idem íd. impulsión íd.	114° »
Idem íd. aspiración alta	24° »
Idem íd. impulsión íd.	117° »
Presión efectiva del aire	7 Kg.
Rendimiento global isotérmico	0,667
Idem del motor	0,91
Idem total del grupo	0,607
Wattios-hora por m ³ aspirado....	94,3

Compresor centrífugo 230 m³/min.

Promedio de cuatro pruebas

R. p. m.	3.045
Temperatura aire aspirado	19° C.
Idem impulsado	90° »
Presión efectiva del aire	7 Kg.
Rendimiento global isotérmico	0,655
Idem del motor	0,94
Idem total del grupo	0,616
Wattios-hora por m ³ aspirado	89,4

Está relativamente conforme con lo que hemos dicho más atrás, lo concerniente a temperaturas —decimos relativamente porque la del turbo está muy alta todavía para lo normal de estas máquinas, que en las más modernas es de unos 60°—, pero en el rendimiento isotérmico el de pistón está más bajo de lo normal; el total está peor aún, por ser menor también el rendimiento del motor.

Como final diremos sobre el empleo de los compresores centrífugos, que en la serie de referencias que hemos podido examinar hemos observado que los hay que trabajan en instalaciones importantes en toda Europa, incluso en Inglaterra y en Rusia, en gran cantidad en la primera, con turbinas de vapor, y en menor en la segunda, con motor, y hasta en África del Sur.

Las capacidades de éstos varían de 6 a 7.000 m³/min. —y en algunos, por excepción, más pequeñas— a 100.000 y 132.000, como son las de «Société Houillère de Sarre et Moselle» (Francia) y de la «The Victoria Fells and Transvaal Power» (Sur Africa), por ejemplo, los dos con turbinas de vapor de 12.300 a 13.600 CV., respectivamente. Los hay tan revolucionados como uno de 15.200 r. p. m. y otro de 16.450, ambos, caso curioso, de 4.800 y 4.260 m³/h. nada más, accionados por motor y turbina y presiones de

4,5 y 9,67 Kg. abs., respectivamente, el primero en una fábrica de Moscú y el segundo en Pretoria. Las potencias más corrientes no suelen sobrepasar los 5.500 Kw., que vienen a suponer unos 60.000 m³/h., y están por lo general entre 1.500 y 3.000 Kw.

Y con esto hemos llegado a los capítulos fin y resumen de todo lo expuesto, en los que, con conocimiento de las características y propiedades más importantes de las distintas clases de compresores, podremos ya contestar a las preguntas que dejamos perfiladas en el capítulo V, las cuales constituyen el objeto de este estudio y de ellas vamos a tratar a continuación.

VII

Dichos interrogantes pueden expresarse como sigue:

A) Anteproyecto y posibilidades técnicas de concentrar en una sola central la compresión del aire que se suministre a los dos citados Grupos mineros de la «Duro-Felguera», Pozo de Fondón y María Luisa, a los de las empresas «Carbones Asturianos» y «La Nueva» y a otras más pequeñas de las proximidades, para una capacidad máxima de 1.000 m³/min. y la potencia necesaria de 8.000 a 9.000 CV. aproximadamente.

B) Conveniencia económica de tal instalación.

En cuanto al primer punto, lo primero que hay que discernir es cuál de los sistemas de compresores de que hemos hablado anteriormente es el más apropiado, si el de pistón o el centrífugo turbo-compresor.

Si se tiene en cuenta que el trabajo con aire comprimido en las minas de carbón se realiza en la labor primordial que es el arranque, en la que se consume la mayor proporción, generalmente de las 7 a las 19 ó 21 —horas de carga máxima en el gráfico de la figura 3—, y que, pasadas éstas, desciende escalonadamente su gasto, quedando reducido próximamente a la mitad, es fácil darse cuenta de que las centrales en cuestión han de estar dispuestas para tener una gran elasticidad de carga sin que su rendimiento baje del límite admisible, lo cual es ya un inconveniente para pensar en dotarlas sólo de grandes máquinas, en las que sea difícil fraccionar la carga sin que sufra el rendimiento.

Lo ideal sería, para nuestro caso, si la carga se

mantuviera con poca variación, montar un turbo de 1.000 m³/min., que es la capacidad mínima según hemos visto, para la cual el rendimiento de los turbos iguala o supera al de los de pistón. Pero como por debajo del 60 % de la carga, en este caso de los 600 m³/min., empezaría a producirse el fenómeno del «pompaje», o a entrar en acción los dispositivos de que suelen estar provistos para evitarle, con la merma del rendimiento que traen consigo, y son muchas las horas en que la carga queda reducida a la mitad o menos, resulta inadecuada esta solución, porque además un sólo compresor en toda la central, aunque sea, como son éstos, de gran seguridad de marcha, no ofrece la necesaria para un sector tan importante de la cuenca de Langreo y haría falta tener otro de repuesto, cosa que no procedería dado su elevado coste.

Desde este punto de vista del rendimiento y sin dejar de tener en cuenta, aunque fuera en segundo lugar, las demás propiedades favorables de los turbos, parece que estaría mejor el poner varios y que entre todos dieran la capacidad deseada, siempre que la de ninguno baje de los 10.000 m³/h., que es la mínima que se considera conveniente para esta clase de aparatos —alguna Casa constructora los fabrica de 75 a 85 m³/min., y asegura que su rendimiento es comparable al de los grandes, de los que son una reproducción en pequeño de todas sus partes, según hemos dicho más atrás—.

Las demás propiedades favorables de los turbo-compresores que deberían ser tomadas en consideración, decíamos, dadas las particularidades propias del proyecto que nos ocupa, serían: producción de aire comprimido más frío, presión más elevada dentro de los modelos corrientes que puede llegar hasta los 10 kilogramos absolutos, incomparable seguridad de marcha con ausencia casi total de desgaste y costo de conservación, menor coste igualmente de las máquinas en sí.

Como la instalación de que se trata habría de estar bastante lejos de alguna de las minas, porque a la de Carbones de «La Nueva» la distancia sería de 3.000 metros, las pérdidas de presión por rozamientos y contracción debida al enfriamiento del aire comprimido serían muy grandes, y con los turbos tendríamos más facilidad para combatirlas, primero, porque la presión inicial de la red podría ser de 2 Kg. más —en los compresores alternativos tipo corriente no conviene pasar de los 7 Kg. efectivos y se necesitarían 9, como

veremos más adelante—, y además porque el aire llegaría con temperatura más baja al punto de partida de aquélla y la contracción por enfriamiento del aire sería menor. Las ventajas restantes son de tal naturaleza que no necesitan discusión y contribuyen bastante a equilibrar, si es que no llegan a superar, la parte débil de su menor rendimiento cuando no se trata de grandes potencias unitarias.

Todo lo cual, unido a que siempre es preferible que en una sala de máquinas el conjunto sea lo más homogéneo que las circunstancias permitan, por muchas razones que así lo abonan, nos induce a inclinarnos por una central sólo a base de turbos, con la que se pudiera hacer frente a todas las condiciones enumeradas y estuviera dispuesta para una gran elasticidad de carga por la distribución y potencia de sus unidades, preferible a la que estuviera compuesta únicamente por compresores de émbolo, porque habría que ir a número mayor de unidades, con todos los inconvenientes que esto significa, aparte de que al no ser modelos especiales, la presión de trabajo que se precisaría, siempre por encima de la normal de 7 kilogramos en los de este sistema, sería suficiente para que no fuera aconsejable su empleo, aunque se dejara de lado lo de la diferencia de temperatura del aire comprimido, que tiene su importancia en este caso, según se verá después.

En definitiva, pues, la central en cuestión podría constar, por ejemplo, de los compresores siguientes en los que hemos procurado armonizar las mayores potencias unitarias con la imprescindible elasticidad de la potencia total exigida en cada momento a la instalación.

Se necesitarían, así, 3 compresores iguales de 350 m³ y unos 3.250 CV. cada uno, porque teniendo que comprimir a 9 Kg., efectivos, según veremos más adelante, hacen falta 9,25 CV. por m³. Redondeamos a 350 m³ los 333 que corresponderían, por ser de la capacidad que se construyen.

En total 3 compresores contra 10 que hubieran hecho falta de los de pistón, en sus potencias máximas usuales por unidad de 300 CV. ó 5 de doble potencia, que también tenemos información de alguno, de dos cuerpos y un solo motor.

El accionamiento de estos compresores podría hacerse con turbinas de vapor o motores eléctricos. En las grandes cuencas hulleras, en las alemanas princi-

palmente, se emplean mucho las primeras, bien con lo que se llama vapor vivo o de producción directa para este objeto, o con aprovechamiento del que se tenga en el escape de máquinas de vapor empleadas en otros trabajos. La turbina de vapor es la que con el turbo-compresor forma un conjunto más perfecto, porque dadas las características de ambas máquinas, generalmente van montadas sin engranajes intermedios y la velocidad puede ser muy bien regulada, como con ninguna otra clase de motores, con sólo actuar sobre la admisión de vapor a la turbina, al igual que la potencia y el gasto de aire del grupo que son consecuencia de aquélla. En zonas mineras en las que existen carbones de baja calidad y difícil colocación en el mercado, el sistema es, sin la menor duda, el más apropiado desde todos los aspectos, y puede decirse que la combinación ideal, cuando de grandes potencias se trata.

En la cuenca de Langreo, aunque existe tal problema, no está muy agudizado, porque las centrales eléctricas absorben los menudos y parte de los «schlamns» de clase inferior de hasta el 35 % de cenizas, de forma que podría estudiarse el accionamiento eléctrico, y dentro de éste el motor síncrono que, pese a su precio bastante más alto que el del asíncrono en sí, al que hay que añadir el del dispositivo de arranque, que en estos compresores tiene mucha importancia —dificultad que, al parecer, se ha resuelto en parte con la toma de carga progresiva del compresor por escalones—, se empieza a emplear más cada día aquél que éste por sus ventajas de tener el rotor macizo, más resistente, no fileteado y de mejorar el factor de potencia de la red, al mismo tiempo que tiene más alto el propio aún con cargas inferiores a las de régimen. Sin embargo, hemos de considerar con preferencia el accionamiento por turbina de vapor, en vista de lo indicada que está para este caso y que es la solución más interesante, si, a mayor abundamiento, puede contribuir a resolver el problema de los «schlamns», que no tienen fácil venta en la totalidad de su producción.

Esto sentado, que indudablemente se puede realizar sin ningún inconveniente técnico —ya veremos más adelante si puede haberlo del orden económico—, réstanos por examinar la posibilidad técnica de la conducción y recepción en las minas.

En cuanto a esta última si se entrega el aire comprimido en lo que llamamos «boca-mina» a la presión acostumbrada de 7 Kg. efectivos próximamente, se estaría en el mismo caso que como se hace ahora con los compresores instalados en las proximidades de aquélla, no se ofrece, por tanto, la menor dificultad en recibirlo; antes al contrario, ello representaría una comodidad para el personal técnico y mecánico de las minas, que no tendría que ocuparse para nada de los compresores, a los cuales hay que prestar siempre especial cuidado si se quieren tener en el estado que requieren.

Otra cosa muy distinta en lo que se refiere a su discusión es el problema de la red exterior de tuberías hasta las minas, pues es de tal importancia que de él depende, como es natural, que el proyecto objeto de este estudio sea realizable o no.

Para su detenido examen tendremos que analizar:

- a) Longitudes de tuberías y secciones.
- b) Clase de tubería que se ha de emplear.
- c) Coste de la misma de primera instalación.
- d) Coste de conservación.
- e) Refrigeración.

Estos últimos con miras a la posibilidad económica de aquél, porque bien pudiera suceder que lo hicieran prohibitivo si resultaran cantidades de importancia tal, que no hubiera lugar a entrar en discusión siquiera y a primera vista se pudiera deducir que era imposible de llevar a efecto.

a) Lo primero que hay que fijar para contestar a esta pregunta es el sitio de emplazamiento de la central, la cual hemos dicho que debería servir para las minas Pozo del Fondón y de María Luisa de «Duro-Felguera», «Carbones Asturianos», «La Nueva» y alguna otra empresa.

Como la más distante de éstas sería la de «La Nueva», supuesto que tendría que situarse aquélla en las cercanías del río Nalón (fig. 4) para poder disponer de agua abundante de refrigeración, es en las proximidades del pueblo de Ciaño donde sin apartarnos de aquél y con posición más céntrica nos podemos situar más cerca de ella, y tomar en cuenta que sería fácil seguir el cauce del Samuño para colocar la tubería, lo que no deja de representar una ventaja de importancia en un terreno tan accidentado, y las márgenes del Nalón para las demás. Fijado ya en los al-

Fig. 4

Escala 1:40,000

Rio Nalón

Rio Trieno

Rio Escobio

Rio Sorriego

Rio Nespral

Fondon

Pontico

Ciénaga

Central

Me Luisa

Sorriego

Nespral

C. Asturiana

C. de La Nueva

Fig. 4
Escala 1:40.000

Pozo Fondón	2.000 m.
» La Nueva	3.000 »
» Carbones Asturianos	2.000 »
» María Luisa... ..	600 »
» Sorriejo y Nespral... ..	2.400 »
» Pontico y Minas Escobio...	1.400 »

Total 11.400 m.

1)	A	Pozo del Fondón	2.000	m.
2)	»	La Nueva y Carbones Asturianos... ..	2.000	»
3)	»	La Nueva desde Carbones Asturianos....	1.000	»
4)	»	Nespral y Pozo María Luisa... ..	600	»
5)	»	Nespral desde Pozo María Luisa	1.800	»
6)	»	Pontico y Escobio	1.400	»

Total 8.800 m.

Pozo del Fondón	183 m ³
» Carbones Asturianos... ..	175 »
» La Nueva... ..	155 »
» María Luisa	300 »
» Sorriego y Nespral	140 »
» Pontico y Escobio	50 »

Aumentará la producción el 60 %.

Total 1.000 m³

la de la compresión politrópica $V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}}$ en la que el índice de compresión, $n = 1,3$; y V_1 , V_2 , P_1 y P_2 , son los volúmenes y presiones iniciales y finales de aquél en los compresores.

<i>Recorridos</i>	<i>D</i>
1)	0,275
2)	0,375
3)	0,275
4)	0,325
5)	0,275
6)	0,125

Para tener en boca-mina 7 Kg. efectivos habría por esta razón que comprimir a 9 como máximo en la central del anteproyecto de que nos estamos ocupando.

He aquí el motivo fundamental por el cual, aparte

de los expresados en otro lugar, nos inclinamos a pensar en la necesidad de que los compresores sean turbos, y esto por dos razones: la primera, porque como hemos dicho, la presión de régimen de éstos puede ser de 10 Kg. abs. contra 8 la de los alternativos de tipo normal de minas, y la segunda, porque dan el aire comprimido más frío —a unos 60° según las Casas constructoras, contra 100° o más las de émbolo—, y para una canalización de esta extensión y sometida a tal enfriamiento es ésta una condición precisa que los hace insustituibles y, en definitiva, de mucho mejor rendimiento práctico para este caso particular.

b) La clase de tubería a emplear sería, sin ningún género de duda, la de chapa soldada de 4 ó 5 mm, según el diámetro, y bridas locas, que iría colocada sobre pilastras de ladrillo de 0,40 de altura para preservarla de la humedad del terreno y hacerla fácilmente revisable en toda su superficie exterior.

c) El importe total de las tuberías en los diámetros y longitudes especificadas, ascendería a la cantidad de 1.780.000 pesetas.

La canalización resulta, como se ve, muy costosa, pues a esto hay que añadir otras 700.000 pesetas de compra de terrenos para el paso de tuberías, servidumbre, pilastras, colocación de tubos, etc. Puede calcularse el importe total en 2.480.000.

d) La conservación de tan importante red también representaría gastos de consideración, aunque en el exterior la producción de fugas es más difícil y más fáciles las reparaciones. Harían falta, sin embargo, tres parejas de tuberos diariamente, cada una de ellas para los recorridos 1) y 6), 2) y 3), 4) y 5), respectivamente, sin perjuicio de las reparaciones generales en días de fiesta, que podrían calcularse en una tercera parte más; todo lo cual vendría a suponer 12.000 pesetas mes.

e) Refrigeración.—Hemos llegado con esto a otros de los puntos discutibles de la distribución de aire comprimido que estudiamos.

Para disminuir las secciones de tubería podría pensarse en montar un refrigerador en que producir el enfriamiento, que de otro modo tendría que realizarse en aquélla.

Esta disminución de secciones, consecuencia de la de volúmenes por enfriamiento, no supondría más que 350.000 pesetas de economía —en la tubería de

chapa soldada hay poca diferencia de precio entre los distintos diámetros, porque el coste de mano de obra varía en pequeña proporción—, y como el importe del refrigerador, que tendría que ser de gran capacidad, sería del orden de las 250 a 300.000 pesetas y el consumo de energía al año de unas 40.000 pesetas, resultaría que en uno o dos años quedaría aquélla absorbida.

Con la refrigeración no se resolvería, como se ve, ningún problema y no se conseguiría otra cosa que complicar la instalación.

Es la tubería, por lo tanto, la que tendría que servir de refrigerante, sin que ello suponga aumento en la pérdida de presión por rozamientos, que quedaría evitada al aumentar las secciones a las consideradas en primer lugar. Así la instalación quedaría simplificada.

Para evitar las pérdidas referentes al enfriamiento cabría el suponer la tubería enterrada, de hierro fundido; pero la gran dificultad que supondría su revisión y reparación en caso de fugas, así como su mayor precio, porque tendría que ser reforzada en previsión de posibles roturas de tubos que por la masa de sus paredes y de la tierra con que habría que cubrirlas podrían equipararse a verdaderas voladuras subterráneas, con peligro de accidentes, nos han parecido motivos suficientes para desechar el sistema e ir al de chapa soldada para tubería al aire libre, con todos los inconvenientes de la pérdida de presión por enfriamiento, corrosión por los agentes atmosféricos, etcétera, que ella tiene.

De cuanto queda dicho sobre la canalización podemos resumir, en suma, que el proyecto es realizable técnicamente y que desde el punto de vista económico, pese a su muy elevado coste, no lo consideramos prohibitivo tampoco en principio, para una instalación de esta categoría, merced a la economía que en compensación se tendría en otros de sus más importantes capítulos, como veremos más adelante.

No se nos oculta, en cambio, la serie de dificultades de índole práctica de que estaría erizado para el paso de tuberías con los propietarios de los terrenos, carreteras, ferrocarriles, etc., aunque si se sigue la caja de estos últimos se tendría adelantado algo y no dejarían de ser bastantes, además, los que fueran propiedad de las Sociedades interesadas. Pero deseamos, a pesar de todo, dejar bien sentado que más que de

un probable proyecto a realizar se trata de un caso práctico, de un ejemplo, tal vez fuera de la posibilidad de ejecución, con el que seguir de modo más patente los razonamientos técnicos y llegar a deducir las consecuencias y normas de aplicación, que es precisamente el fin que perseguimos.

Veamos ahora el apartado B) que consideramos anteriormente y nos queda por examinar, que por su gran interés, porque puede considerarse como compendio y consecuencia de todo lo dicho hasta aquí, merece capítulo aparte, al que vamos a pasar.

VIII

B) Conveniencia económica de la instalación.

Para comparar económicamente el tipo de central de grandes unidades de compresión con turbos, de que tratamos, con las actuales, consideremos una de éstas de compresores alternativos con capacidad

1

para 170 m³/min., por ejemplo, o sea — aproxima-

6

damente de aquélla, que supondremos vendría a representar el promedio de la que tendrían 6 de ellas situadas en las proximidades de la boca-mina en esta zona, el día en que se hiciera el aumento de aire a que hemos aludido. El presupuesto de gastos de instalación y sostenimiento de ella multiplicado por 6, es el que tenemos que comparar con el de la que interesaría de grandes unidades.

A esta última la llamaremos Ct y cp a la de pistón de 170 m³/min.

En estas condiciones, veamos el gasto de instalación de cada una de ellas con arreglo a los capítulos siguientes, tras considerar que en la Ct hay que estudiar las dos clases de accionamiento: el eléctrico y el de turbina de vapor.

Estos capítulos son:

- a) Coste de maquinaria y montaje.
- b) » subestación de transformación y canalización eléctrica.
- c) » calderas de vapor para las turbinas.
- d) » edificios y fundaciones.
- e) » instalación de movimiento, secado, etc., del combustible.
- f) » depósito y tuberías de la red hasta las minas.

Entremos a tratar de cada uno de ellos, procurando ser breves.

a) Coste de maquinaria y montaje.

En este apartado haremos la comparación a base de los últimos precios que tenemos de los compresores de pistón y de los que a título de información nos han dado de los turbos, con motor o con turbina, y de calderas; pero ha de tenerse presente que estos precios están cambiando constantemente, si bien la diferencia relativa es natural que se mantenga sin variaciones notables.

La central cp de 170 m³/min. tendría la potencia de 1.200 CV. aproximadamente, para lo cual harían falta dos compresores de 600 CV. con motor síncrono de 5.000 V., cuyo importe sería de 835.000 pesetas, todo incluido, incluso Aduanas, cada uno, y de 1.675.000 el de los dos. El montaje supondría 25.000. En total, 1.700.000 pesetas.

La Ct estaría compuesta, como ya dijimos, de tres turbo-compresores de 350 m³ con motor síncrono a 5.000 V., que para comprimir a 9 Kg. efectivos necesitaría tener $350 \times 9,25 = 3.250$ CV., en bornes del motor, cada uno, los cuales importarían unas 2.960.000 pesetas por unidad, todo incluido también, incluso Aduanas, y los tres, 8.800.000 pesetas. Montarlos costaría alrededor de 75.000, la refrigeración para 300 m³/h. de agua, 200.000, y el total, 9.155.000.

En la Ct de accionamiento térmico, los grupos, de la misma potencia, costarían 9.870.000 pesetas, elevándose algo más el montaje y también se elevarían a unas 100.000, lo que sumado a 1.500.000 de refrigeración, condensación y depuración, da un total de 11.470.000 pesetas.

b) Subestación de transformación y canalizaciones.

La subestación sería de cuenta de la central eléctrica; empero, debe ser incluida en el cálculo económico para hallar el coste real con carácter general.

Para la cp se necesitaría un transformador de 1.000 KVA. de 24 a 5.000, cuyo coste, con todos sus accesorios de interruptores, protecciones, etc., sería de unas 230.000 pesetas; la canalización, 7.000; el montaje, 13.000, y el total, 250.000.

En la Ct harían falta 7.200 KVA., que se distribuiría en dos transformadores de 3.600 cada uno, cuyo importe ascendería a 460.000 pesetas por unidad, con accesorios, y en total, a 920.000; la canalización cos-

taría 40.000 pesetas, 30.000 el montaje y 990.000 el total de la subestación.

c) Calderas de vapor para las turbinas.

Para calcular su capacidad admitimos —pues ya lo explicaremos después— que tiene que trabajar la central 12 horas a plena carga y 8 a la mitad como término medio, que a 8,5 Kg. efectivos de presión media, para contrarrestar la pérdida que hemos señalado de 1,5 hasta boca-mina, o sea a 9 CV. por m³ de aire por minuto, supone en la jornada en Kwh.:

12 × 6.950 =	83.400 Kwh.
8 × 3.475 =	27.800 »
Bombas de refrigeración y compresores. 500 »	
TOTAL	111.700 Kwh.

En las turbinas de vapor modernas de alta presión el Kwh. consume 5 Kg. de vapor aproximadamente, más bien por defecto, en estas potencias; de manera que en este caso hay que producir para la potencia máxima $7.200 \times 5 = 36.000$ Kg. de vapor/h.

Con esta producción de vapor y condiciones de marcha, la batería de calderas de uno de los sistemas más recientes, que se distribuiría en tres calderas más otra de repuesto, vendría a importar, según precios de referencia, 12.000.000 de pesetas con montaje.

d) Edificios y fundaciones.

Adjuntamos plano detallado de las tres centrales, que no creemos necesario entrar a describir, en el cual se verán indicadas las fundaciones y situación de máquinas con las dimensiones respectivas. A las Ct se les ha provisto de una grúa de 15 toneladas para el movimiento de las grandes piezas.

El edificio de la cp costaría 131.000 pesetas y 35.000 las fundaciones. En total, 166.000.

El de la Ct eléctrica, 271.000 pesetas; la grúa,

125.000 con vigas y carril, y las fundaciones, 55.000. En conjunto, 451.000.

En la Ct térmica, la sala de compresores sería igual, y habría que añadir al presupuesto 975.000 pesetas de la nave para calderas y un piso más de casa de máquinas para condensación, etc., así que la totalidad del edificio y fundaciones costaría 1.426.000.

e) Instalación de movimiento, secado, etc., del combustible.

Para fosa, grúa, secadero, molinos, etc., estimamos suficiente, dado el citado tonelaje que en veinticuatro horas hay que mover, un presupuesto del orden de 2.500.000, que no detallamos por salirse ya del tema principal a desarrollar en este estudio.

f) Depósitos y tuberías de la red hasta las minas.

En la cp haría falta un depósito de 20 m³ que valdría 40.000 pesetas; la tubería de aspiración e impulsión, 15.000. Como se considera situada a boca-mina, la tubería desde el depósito hasta ésta puede calcularse en otras 15.000. Total, 70.000 pesetas.

Las Ct llevan nada más que un depósito de 20 m³ para hacer simplemente el empalme de las cuatro ramas de la red, dado el gran volumen que éstas representarían y que podrían hacer el papel de grandes recipientes; su coste y el de las tuberías de aspiración e impulsión sería de 40.000 y 50.000 pesetas, respectivamente. El importe de la tubería hasta las minas que hemos examinado como factor decisivo de este anteproyecto, dijimos que era de pesetas 2.480.000 con todos sus gastos incluidos. Importaría todo este capítulo en esta central 2.570.000 pesetas.

Podemos ya establecer la siguiente relación comparativa de presupuesto completo de las tres centrales en cuestión y de la cp multiplicando por 6.

Capítulos	cp	cp x 6	Ct eléctrica	Ct térmica
a) Coste de maquinaria y montaje	1.700.000	10.200.000	9.155.000	11.470.000
b) Coste de subestación y canalización eléctricas	250.000	1.500.000	990.000	—
c) Coste de calderas	—	—	—	12.000.000
d) Coste de edificios y fundaciones	166.000	996.000	451.000	1.426.000
e) Coste de instalación de movimiento y secado, etc., del combustible	—	—	—	2.500.000
f) Coste de depósitos y tuberías de la red hasta las minas	70.000	420.000	2.570.000	2.570.000
TOTAL	2.186.000	13.116.000	13.166.000	29.966.000

De la observación de este cuadro se deduce en primer lugar que los centrales $pc \times 6$ y Ct eléctrica vienen a costar igual, y que la Ct térmica importa bastante más del doble que la primera por lo mucho que suponen las calderas, principalmente; en seguida llama la atención la diferencia de precio de los compresores de émbolo con los turbos eléctricos, a pesar de que éstos tienen que trabajar a 9 Kg. efectivos y aquéllos a 7, resultando en cambio más caros los de turbina de vapor por las instalaciones auxiliares, que no obstante resultarían del mismo precio que los primeros si fueran para comprimir a 7 kilogramos también, porque en este caso llevarían dos células menos. Sin embargo, dadas las cotizaciones tan variables de divisas que hoy se padecen, no tendría nada de particular que existiera cierto desequilibrio en los precios cuando, como en este caso, se trata de monedas distintas, sin que llegue a cambiar, creemos, fundamentalmente el aspecto de la cuestión. Las $cp \times 6$ se ve, por último, que son más caras de edificios que la Ct eléctrica, pero tienen la gran economía de la red exterior.

Y ahora pasemos a los gastos de sostenimiento, a fin de hallar el precio de coste comparativo por m^3 de aire y tonelada de carbón, para lo cual vamos a dar previamente una idea de la organización del trabajo en la central en cuestión, porque de las de tipo actual ya se ha hablado.

En las minas se trabaja en el arranque del carbón a dos relevos, bien porque no hay explotaciones suficientes para que todos los picadores puedan trabajar en el mismo turno, o porque los compresores no tengan capacidad para suministrar aire a todos a la vez. Ambas circunstancias favorecen lo que llamamos la *concentración del arranque*, que estamos persiguiendo con vistas a producir lo más posible en el menor número de explotaciones y por otra parte rebajan el capítulo de coste de amortización de las instalaciones de aire comprimido a la mitad, al poder ser éstas de la mitad de potencia, y suponer que en cada turno trabaje en esta proporción el personal, según suele suceder sobre poco más o menos, o con pequeña diferencia a favor del primero.

Como quiera que cada relevo de arranque, no necesita el aire comprimido más que unas cinco horas o a todo lo más seis, con doce horas que los com-

presores funcionen a plena carga estarán cubiertos todos los servicios principales incluyendo parte de las labores de preparación, si se desplaza en seis horas la entrada al trabajo del personal que no se interfiere en el mismo. Terminada esta primera etapa de la jornada, sigue otra en la que todavía queda personal de arranque —el menos—, que trabaja en tercer turno, con gran parte también del de preparación; de forma que vienen a ser otras ocho horas aproximadamente —se sobrentiende que nos referimos a horarios medios, ya que pueden variar algo de unas minas a otras—, durante las cuales se puede considerar a los compresores con un promedio de la mitad de carga; y queda a veces una última de cuatro horas, o menos, de marcha de éstos, en las que llevarán un promedio de carga de la cuarta parte cuando más para algunas labores de preparación, etapa que con una central de gran potencia podría y debería ser suprimida, porque al disminuir el gasto, el % de fugas de la red interior se eleva de tal modo que no es difícil que pueda llegar al 80 ó 90 %.

La central que estudiamos podría muy bien tener capacidad para parar estas últimas cuatro horas, y quedar todos los trabajos bien provistos de aire comprimido en las veinte horas restantes, al objeto de evitar los bajos rendimientos que con gastos excesivamente pequeños se tendrían, tanto en los turbo-compresores como en las redes interiores de distribución.

Lo mejor sería, en lo que al rendimiento y a la amortización de la central se refiere, el que pudiera marchar a plena carga la mayor cantidad de tiempo posible y que la curva de carga se aproximara a una línea horizontal; pero las necesidades de las mismas, a las que tiene que estar supeditada, bastante será que lo permitan durante doce o a todo lo más catorce horas. Por lo tanto, para nuestros cálculos supondremos que la central tiene que marchar sólo veinte horas; doce a plena carga y ocho con la mitad. Tendríamos así, de momento, como ya dijimos, $250 m^3$ de aire por tonelada de carbón; el 147 % del gasto actual.

Y puesto que de organización estamos tratando, veamos el cuadro de personal que se necesitaría. Decíamos más atrás que hacía falta tuviera ciertos conocimientos técnicos; por eso habría que pensar en poner un jefe de central, que podría ser un Ayudante Facultativo de Minas a las órdenes de uno de los

ingenieros de los grupos mineros dependientes de la central, y el personal encargado del manejo y cuidado de las máquinas estaría compuesto de dos hombres en cada relevo; uno, empleado, de la Escuela de Mecánicos y Electricistas de Minas, y el otro, un obrero ayudante de mecánico. El número de relevos tendría que ser de tres, porque las 4 horas que le sobrarán al último, las invertiría en revisar y limpiar los compresores, los aparatos de medida, despacho de partes de producción de jornada, etc. En total, siete hombres y un administrativo, que sumados a los de la conservación de la tubería exterior de que hemos hablado, supondrían unas 35.000 pesetas mensuales, cargas incluidas, para la central eléctrica; porque para la térmica habría que aumentar en el servicio de calderas y movimiento de carbón, etcétera, otros 30 obreros con un empleado administrativo y tres jefes de equipo, y la nómina total resultante sería de 95.000 pesetas, incluidas cargas sociales.

Dentro del sistema de organización de la central, encaja lo correspondiente a la vigilancia de la misma, en lo que afecta a su producción y al reparto de ésta entre las distintas minas, vigilancia que por la facilidad de ser centralizada para una gran producción, supone, a nuestro entender, una de las mayores e indiscutibles ventajas de la instalación que nos ocupa. Dijimos, al referirnos a las centrales actuales, que los servicios técnicos de aire comprimido, de que disponemos, al tener que atender a los problemas de las redes de interior, a las máquinas neumáticas de arranque y perforación, estadísticas, etc., no podía ocuparse de tanto compresor como tenemos repartido por todas las minas para hallar periódicamente su rendimiento, diagrama, curva de carga, etc., y esta labor, a nuestro juicio, importantísima, es la que se podría hacer en esta central diariamente, dotándola de tantos cuadros como redes habría de alimentar, en los que hubiera aparatos contadores y registradores del gasto de aire, que al mismo tiempo que servirían para la liquidación mensual del consumido por cada Sociedad, pudieran proporcionarle los correspondientes gráficos de los gastos habidos en cada instante durante la jornada, dato de incalculable valor para los ingenieros de las minas, toda vez que al primer golpe de vista dan idea de todas las incidencias ocurridas en aquélla; si el consumo ha sido

normal, para en caso contrario poder más fácilmente buscar la causa; si el personal está bien distribuido y ha dado el rendimiento debido, del cual el consumo de los martillos es un buen exponente, y, en fin, por comparación con los gráficos dados por la misma central a otras Sociedades, poder deducir, con mucho mayor conocimiento de causa, si tienen el aire comprimido bien administrado o, por el contrario, existe en sus minas despilfarro inútil de energía. Todas estas ventajas propias de una buena organización bien estudiada técnicamente, no cabe la menor duda que representarían una economía de importancia que sólo podría apreciarse por estadísticas después de varios meses de marcha. El personal técnico que dirige las minas se encuentra, de por sí, con tantos problemas tan acuciantes de la explotación, que le es materialmente imposible ocuparse de estos otros, con el detenimiento que puede hacerlo otro personal especializado que no tenga más que esa misión. Demos, por lo tanto, a la organización el papel preponderante que habría de jugar y admitamos que es una de las razones que más abogaría en favor de una gran central de compresión, aunque no pueda cifrarse *a priori* la economía que ella fuera capaz de representar.

Continuando con el cálculo de los gastos de sostenimiento, veamos los mismos capítulos que dimos para el precio de coste por m^3 de aire en las actuales centrales de compresores, aumentando los de amortización, gastos generales, imprevistos y varios:

- a) Energía o combustible.
- b) Vigilancia.
- c) Engrases.
- d) Reparaciones y repuestos.
- e) Amortización.
- f) Gastos generales, imprevistos y varios.

Analicemos cada uno lo más brevemente posible, porque ya que se nos recomienda no ser demasiado extensos.

- a) *Energía o combustible.*

Hoy tenemos un consumo de 14,5 Kwh. para aire comprimido a razón de $170 m^3/min.$; si incrementamos en el futuro el gasto el 47 % se consumirían $250 m^3/min.$, y entonces el importe de energía, que ahora es de 5,73 ptas./ton. se elevaría a 8,44 al pre-

cio actual de 0,394 pesetas el Kwh., incluidos impuestos. Si la producción sobrepasara con el tiempo de las 4.000 toneladas de hulla diarias, como hemos admitido que puede suceder, cuantas cifras vamos a dar relacionadas con aquélla quedarían modificadas, pero todas en la misma proporción, y las diferencias relativas permanecerían inalterables, subsistiendo íntegramente el valor de la comparación que vamos a establecer; otra manera de hacerlo no hay, porque es imposible prever la producción exacta, que además será muy variable.

En la Ct eléctrica hemos dicho que habría tres grupos de 3.250 CV. cada uno, pero como tendría que trabajar normalmente a 8,5 Kg. efectivos, gastaría a razón de 111.700 Kwh. diarios, según queda dicho, o sean 44.009 pesetas, que por tonelada explotada representa 11,00 pesetas. No hay que olvidar al comparar con la cifra del consumo anterior que aquí comprimiríamos a 8,5 Kg., y allí sólo a 7.

En la Ct térmica se consumirían, teniendo presentes las características de marcha de esta central y las calorías del combustible, unos 900 g. de «schlamms» del 30 por 100 de cenizas por Kwh. en ejes de turbinas, incluidos servicios auxiliares —permítasenos la equivalencia para simplificar los cálculos, aunque en este caso no se trate de unidades eléctricas—; luego por día, al descontar el 8 % de energía, a favor de la turbina, porque la calculada para los motores era en bornas, después de aumentarle otros 1.000 Kwh. para bombas en el río.

Carbón consumido = $112.700 \times 0,92 \times 0,9 = 93,31$ Tm.
A 150 ptas. Tm. incluido transporte = 13.996 ptas.
Por Tm. de hulla explotada = 3,50 ptas.

b) Vigilancia y gastos de personal.

El coste de la mano de obra será en las centrales cp igual al que había, más lo que representa la subida última de jornales, que equivaldría al 18 %, porque a la prima de asistencia no le afecta; es decir, de 0,27 ptas./ton.

Hemos dicho que en la Ct eléctrica la nómina mensual, con cargos, es de 35.000 pesetas. A 100.000 toneladas de producción de las minas interesadas, en el mes, corresponde un gasto de 0,35 ptas./ton.

En Ct térmica, de 95.000; representaría por tonelada 0,95.

c) Engrases.

Los compresores de pistón modernos vienen a consumir a razón de 0,10 pesetas por tonelada de carbón. Los tubos gastan mucho menos, pero como los cojinetes tienen que ir refrigerados, con el tiempo se produce también alguna pérdida en filtraciones, por lo cual no será exagerado calcularlo en 0,05 ptas./ton. para los eléctricos y 0,07 para los térmicos. Se incrementarían el 47 % estas cantidades en nuestro caso.

d) Reparaciones y repuestos.

Este capítulo viene a resultar a 0,13 ptas./ton. Pongamos para los turbos la mitad en atención a lo poco propensos que resultan a las averías, o sea 0,065 ptas./ton., y para las calderas, 50.000 mensuales con mano de obra y materiales, que suponen 0,50 pesetas tonelada. En total, 0,60 con incremento del 47 % para la Ct térmica, para la Ct eléctrica 0,10 y para las cp 0,19.

e) Amortización.

Si amortizamos el importe total de cada una de las instalaciones que hemos consignado en el último cuadro en veinte años, menos el capítulo de tuberías exteriores, que lo haremos en diez, tenemos:

Centrales	C, amortizar	Anualidades	Coste por ton. explotada
cp \times 6	13.116.000	676.300	0,56
Ct. eléctrica	13.166.000	751.800	0,63
Ct. térmica	27.466.000	1.591.800	1,33

f) Gastos generales, financieros, imprevistos y varios.

Sobre el importe de los demás capítulos, a excepción del coste de la energía por tonelada, cargaremos un 10 por 100 por este concepto.

Podemos ya confeccionar el siguiente cuadro de los precios de coste del aire comprimido en las tres clases de centrales, por tonelada de carbón explotada, para un consumo de 250 m³/ton. de aire aspirado, que está incrementado en el 47 % del actual.

Capítulos	cp x 6	Ct eléctrica	Ct térmica	Diferencia por Tm. entre cp x 6 y Ct térmica
a) Energía o combustible	8,44	11,00	3,50	— 4,94
b) Vigilancia y personal	0,27	0,35	0,95	+ 0,68
c) Engrases	0,15	0,07	0,10	— 0,05
d) Reparaciones, etc.	0,19	0,10	0,60	+ 0,41
e) Amortización... ..	0,56	0,63	1,33	+ 0,77
f) Gastos generales, imprevistos, etc.	0,11	0,11	0,30	+ 0,19
	9,72	12,26	6,78	— 2,94

Por m³ de aire aspirado serían:

Capítulos	cp x 6	Ct eléctrica	Ct térmica	Diferencia de térmica con cp x 6
a)	0,0337	0,0440	0,0140	— 0,0197
b)	0,0011	0,0014	0,0038	+ 0,0027
c)	0,0006	0,0003	0,0004	— 0,0002
d)	0,0007	0,0004	0,0024	+ 0,0017
e)	0,0022	0,0025	0,0053	+ 0,0031
f)	0,0004	0,0004	0,0012	+ 0,0008
	0,0387	0,0490	0,0271	— 0,0116

De la observación de estas cifras se desprende la consecuencia inmediata de que con la central Ct térmica hay una economía de coste por tonelada de 2,94 pesetas, con respecto a las centrales cp x 6, equivalente al 30 por 100, o al 26 % aun en el supuesto de que éstas estuvieran amortizadas, es decir, restando de las 9,72 del coste de ellas por tonelada las 0,56 de amortización, para situarnos en las mismas condiciones de las actuales, si suponemos que éstas pudieran ya estarlo, aunque realmente no sea así, a fin de ponernos en el caso más desfavorable para la central del anteproyecto en cuestión; economía muy importante que hace perfectamente factible y harto beneficiosa la solución de turbo-compresores con turbina, frente a la de alternativos a boca-mina, máxime si se considera por un lado que el precio a que hemos puesto el carbón es incluyendo la última subida, sin tener en cuenta la que probablemente ha de experimentar también la energía eléctrica por esta causa; por otro, que los Kwh. producidos los hemos tomado en ejes de turbinas y no en barras de toma como en las subestaciones eléctricas; o bien, que se evita la pérdida de energía en generadores, transformadores y líneas, lo que explica en parte la diferencia existente en el precio del Kwh. independientemente de la debida a los impuestos, amén de las ventajas de no tener que invertir capital en máquinas y demás materiales eléctricos.

La economía se debe, pues, totalmente a la del coste de la energía térmica, cuya especificación principal por capítulos podemos establecer, considerando para la amortización lo correspondiente a calderas, suplemento de edificios para ellas, movimiento y secado de carbón, etc., condensación, depuración y exceso de precio de la turbina sobre el motor eléctrico; en total, 18.000.000 de pesetas para amortizar en los susodichos veinte años. Se tomarán de personal y reparaciones sólo las 60.000 y 50.000 pesetas mensuales, respectivamente, que se indicaron para la parte esencialmente térmica. Veámoslo en el siguiente cuadro:

Coste del Kwh.

Clase de energía	Combustible	Personal	Reparaciones	Amortización	Gastos generales y varios	TOTAL
Eléctrica, con impuestos...	—	—	—	—	—	0,394
Térmica	0,140	0,022	0,018	0,027	0,007	0,214

El Kwh. en eje de turbinas saldría, por lo tanto, con el nuevo precio del carbón, el 46 % más barato que lo que nos supone hoy día, y el descenso de esta economía del aire comprimido por tonelada explotada hasta el 30 % que resulta respecto a la cp x 6 se debe a los mayores gastos de personal de la central Ct de turbo-compresores, aumentados en la conservación de tuberías, y a la amortización de éstas que son de elevado coste, como hemos visto, y sólo las hemos dado diez años de duración.

En resumen: la central Ct eléctrica resulta mucho más cara de precio de coste del aire que las cp x 6 y no interesan de ninguna manera. En cambio, la Ct térmica es altamente rentable porque daría una utilidad total del 11,9 % del capital invertido, por la diferencia del costo de compresión que se ha expuesto, tomando el de las cp x 6 con amortización; y del 9,7 % imaginándolas ya amortizadas, que es como si consideráramos que ya lo estuvieran las que tenemos en actividad, con el 47 % de ampliación que se ha supuesto para el porvenir.

Para las minas representaría, por otra parte, un gran beneficio el dar de salida mensualmente unas 2.300 toneladas de «schlamms» del 30 % de cenizas, que de otra forma no tendrían colocación y sería un producto cuya producción habría que restringir con detrimento de la total.

Para terminar, hagamos unos comentarios a grandes rasgos sobre el sistema de compresión que pudiéramos llamar mixto, mencionado ya de pasada al tratar de la electrificación del interior, de colocar los compresores diseminados por las proximidades de los frentes de trabajo con objeto de eliminar las pérdidas en tuberías, aunque ello sea a costa de una descentralización mayor que la de las instalaciones corrientes; quiere decirse, un procedimiento completamente opuesto a los que venimos estudiando, pero que no deja de tener gran interés, porque el fin que con él se persigue es el mismo que en aquéllos: rebajar el precio de coste del aire comprimido.

Con la idea de poder dar unas cifras comparativas que son las que mejor definirán los conceptos sobre la cuestión, volvamos al ejemplo del Fondón que para los cálculos de electrificación citamos al tratar de dicho problema, si bien hemos de suponer que en este caso se limitaría a la red principal de distribución. Imaginemos que en dicha mina quisiéramos transportar 180 m^3 de aire libre aspirado, que es el gas asignado en el proyecto anterior a las distancias de 2.500, 3.000 y 3.500 metros —donde se encuentran situados los tres núcleos de explotaciones que componen la mina— en la cantidad de 60 m^3 para cada una.

Si en lugar de la conducción de aire hasta dichos puntos, situáramos en ellos los compresores trabajando a 6 Kg. efectivos —que sería allí presión suficiente por la proximidad a los frentes de trabajo—, los cables de la canalización eléctrica a 5.000 voltios importarían unas 605.000 pesetas, y las pérdidas en línea, para tener al final de ella los 1.200 CV. necesarios, serían del orden del 2,9 %. Disminuir más éstas no sería ya económico, porque se elevarían los gastos de amortización más que lo poco que ellas podrían descender.

Admitamos ahora para calcular las de aire comprimido:

Primero. Que las pérdidas totales por fugas de toda la mina son del 30 %, proporción que además de estar medida estimamos muy corriente para esta extensión de red, incluidas la de 35 explotaciones y los recorridos por algunas capas en tres pisos.

Como para las tuberías principales de esta clase es generalmente admitido que las fugas vienen a ser del orden del 30 % de las totales, quiere decirse que por este concepto se tendría una pérdida del 9 % aproximadamente.

Segundo. Las debidas al rozamiento pueden ser, para las varias tuberías que con los cables vamos a comparar:

a) Despreciables.

En este caso las pérdidas serán solamente las de volumen por fugas, o sea del 9 %. El exceso sobre las eléctricas sería de esta suerte del 6 por 100 como máximo en números redondos.

Se necesitaría para ello ir a diámetros muy altos, en el recorrido mayor, de 375 mm., y el coste de tubería se elevaría al 130 % del de los cables.

b) En una proporción relativamente baja, para que la caída de presión no exceda de 0,5 Kg. efectivos en el recorrido medio de 3.000 metros.

La pérdida de energía representaría en tal supuesto el 14 %. Las secciones de tubería tendrían que ser elevadas todavía, y su importe, el 110 % del de la conducción de cables.

Las pérdidas totales sobrepasarían a las eléctricas en este 4 % más el 6 % por las de volumen; esto es, en el 10 %.

c) Las máximas admisibles, para un rendimiento aceptable, que pueden calcularse en una caída de presión de 1 Kg., ya que más altas reducirían la presión final, al sumarse con las de fugas, en más de 1,50 kilogramos, límite por encima del cual la instalación dejaría de tener la necesaria eficacia.

De esta forma, se perdería por rozamiento el 8 % de la energía —por diferencia de trabajo para comprimir a 6 y 7 Kg. efectivos—, al que habría que aumentar igualmente el 6 % de fugas. En suma, el 14 %.

El coste de tuberías sería, aún así, sólo el 5 % aproximadamente inferior al de los cables.

No hay que olvidar que estos números se refieren a una mina de tipo medio y que no tienen, por consiguiente, más que un valor relativo, por lo que es necesario hacer el cálculo para cada caso particular; pero es indudable que sirven de orientación y nos permiten sacar consecuencias para las de características medias, similares a las del ejemplo, que serán muchas, pues aun-

que tengan con ella diferencias, entendemos que no serán suficientes para cambiar fundamentalmente el aspecto del problema, si no son extremadas.

La consecuencia inmediata que se deduce del examen de estos tres casos es que la instalación eléctrica es de ordinario más económica en pérdidas y también en gastos de instalación de las canalizaciones, mientras las secciones de tuberías no lleguen a su límite mínimo admisible.

Veamos los demás capítulos:

En el de vigilancia de los compresores, al tener mayor número en actividad y distanciados unos de otros, en tres sitios bastante alejados, los gastos serían tres veces mayores, o más exactamente cuatro, por ser más altos los jornales del interior, a no ser que se pusieran dispositivos de mandos a distancia, que en la mina nos parecen un tanto peligrosos.

Las reparaciones subirían. El coste de compresores, también, por tratarse de mayor número de unidades para casi la misma potencia. Los locales y fundaciones experimentarían poca variación porque hay que tener presente que habría que estar haciéndolos distintos con relativa frecuencia para tenerlos cerca de los trabajos. No creemos sea exagerado sumar el 20 % a las reparaciones y el 15 % como promedio, a la amortización de compresores y locales. El cuidado, tendido y conservación de tuberías consideramos que cuesten 0,15 ptas./ton. más que los de los cables eléctricos.

Según esto, podemos ya hallar la economía, por tonelada explotada y capítulos, que el sistema representaría en cada uno de los tres casos del ejemplo analizado.

Capítulos	a)	b)	c)
Energía	— 0,50	— 0,84	— 1,17
Vigilancia	+ 0,81	+ 0,81	+ 0,81
Amortización tuberías y cables en diez años	— 0,15	— 0,05	+ 0,03
Amortización de máquinas y locales	+ 0,08	+ 0,08	+ 0,08
Diferencia conservación red.	— 0,15	— 0,15	— 0,15
Reparaciones	+ 0,04	+ 0,04	+ 0,04
TOTALES	+ 0,13	— 0,11	— 0,36

De esta comparación se deducen consecuencias interesantes, a las que pueden darse, por lo que se ha dicho, carácter bastante general.

1) La economía de energía en el sistema mixto queda bastante neutralizada con el mayor costo del personal de vigilancia de los compresores.

2) El exceso de dispersión de éstos es contraproducente, porque eleva los gastos de vigilancia en gran cuantía.

Rebajando este capítulo a lo de las centrales actuales, para lo cual haría falta tener los compresores reunidos en el interior y que pudieran ser vigilados por el mismo número de obreros, el sistema resultaría aconsejable aunque difícil de realizar por las dimensiones de los locales que se precisarían.

Si en el cuadro anterior suprimimos dicha diferencia en más, se tendrían las economías siguientes para cada uno de los casos supuestos:

a) 0,68 equivalente al 7 por % del coste total de compresión por tonelada de carbón.

b) 0,92 equivalente al 9,5 % ídem íd. íd.

c) 1,17 equivalente al 12 % ídem íd. íd.

Tomando el promedio de estos dos últimos se deduce a su vez:

3) Para el mismo personal de vigilancia y unas pérdidas de energía normales del orden del 15 %, en la red principal de tuberías, de una longitud media de 3.000 mts., la economía que con el sistema mixto se obtiene anda alrededor del 11 % del precio de coste de compresión por tonelada explotada, y aumenta o disminuye con dicha longitud, aunque no proporcionalmente, porque hay sumandos que no varían con ella según se deduce del cuadro anterior.

4) En la canalización de tuberías están, naturalmente, en razón inversa el importe de las pérdidas de energía con el de su amortización; pero crece mucho más rápidamente en importancia aquél que éste. De aquí la gran ventaja que para el aire comprimido supone el empleo de grandes secciones, las cuales puedan hacer, por supresión de las pérdidas de rozamientos, que desde el punto de vista económico, haya poca diferencia entre las canalizaciones de aire comprimido y las eléctricas en las ramas principales de distribución, cuando los compresores se colocan bastante diseminados en el interior de las minas, como en el ejemplo a que nos hemos referido.

5) Los compresores, situados cerca de los trabajos proporcionarían mejor presión y más constante al disminuir las probabilidades de fugas, lo cual represen-

taría un gran beneficio para el efecto útil de todas las labores.

CONCLUSIONES

De cuanto queda dicho podemos, por último, terminar con las siguientes conclusiones:

1) La concentración de las instalaciones de aire comprimido en otras de grandes unidades permitiría, a nuestro juicio, una mejor organización técnica y vigilancia de dicho elemento, tan decisivo en el efecto útil de las minas.

2) La economía de tal concentración no compensaría, a pesar de todo, en modo alguno, los elevados gastos de energía y de la red exterior de tubería, a no ser que ésta fuera tan pequeña, que los referidos gastos perdieran importancia al lado de los otros conceptos, circunstancias de proximidad y de volumen de explotación muy difíciles, por no decir imposibles, de reunir en las minas asturianas; o que ellos pudieran tener como contrapartida un precio muy bajo de la energía a consumir.

3) Con turbo-compresores accionados con turbinas de vapor, vemos que esto es realizable en grandes potencias, incluso para distancias mayores que las de nuestro ejemplo, porque el capítulo de amortización de las instalaciones tiene mucho margen para ello; y no sólo nos parece realizable, sino altamente beneficioso para la economía de la explotación del carbón.

4) Acentúa notablemente las ventajas del empleo

de éstos el poder consumir al mes cerca de 2.500 toneladas de «schlamms» de inferior calidad que de otra forma habría posiblemente que dejar de producir por no tener fácil colocación en el mercado en la actualidad.

5) En las minas aisladas, no susceptibles de centralizar su compresión, el sistema mixto de distribución —electro neumático que pudiéramos decir— es recomendable por ser más económico, siempre que no haya necesidad de aumentar de modo patente la nómina de personal al distribuir los compresores en el interior, en las proximidades de las explotaciones, si las pérdidas de la red de aire comprimido que haya que substituir están dentro, o más altas, de lo normal, y por la gran ventaja que tiene de proporcionar el aire a presión más constante.

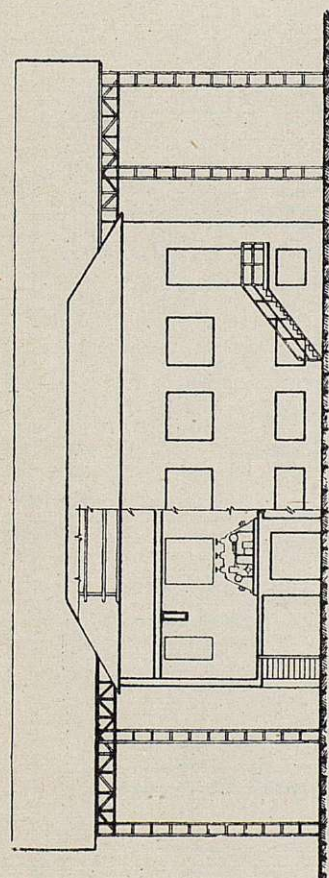
* * *

Esta es nuestra manera de ver el problema de la compresión en las minas de Asturias, problema muy interesante, en el que con la aplicación de los sistemas de que hemos tratado pueden llegar a obtenerse economías de importancias, al par que incrementos en el rendimiento y en la producción de carbón, que en tan alta medida y en todos los órdenes interesan a la economía nacional.

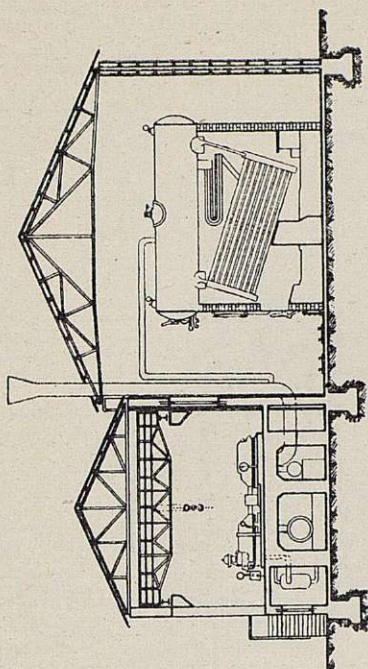
Marzo, 1950.

(Véanse planos en las páginas 115 a 117, ambos inclusive.)

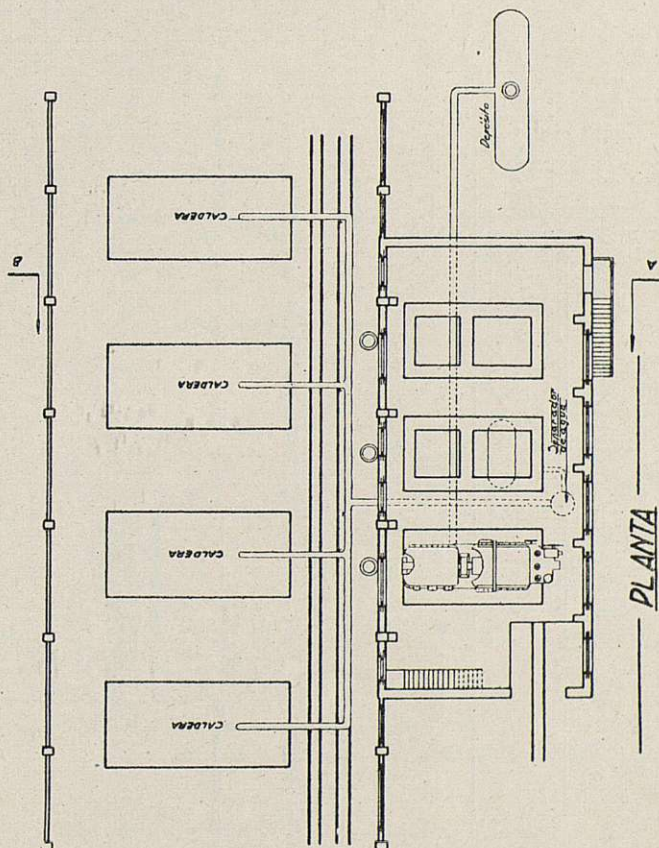
No se hizo objeción alguna a este trabajo, y se procedió después a la lectura del que sigue con el núm. 158.



ALZADO



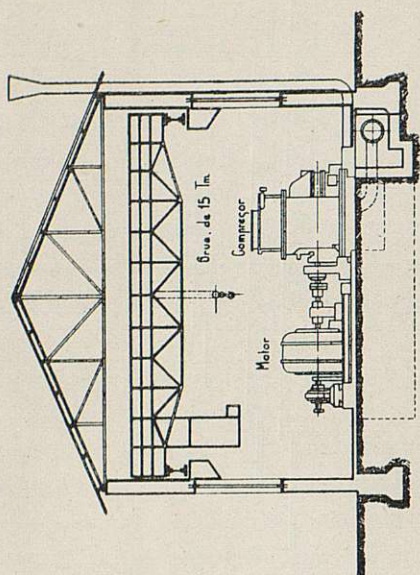
SECCION A-B



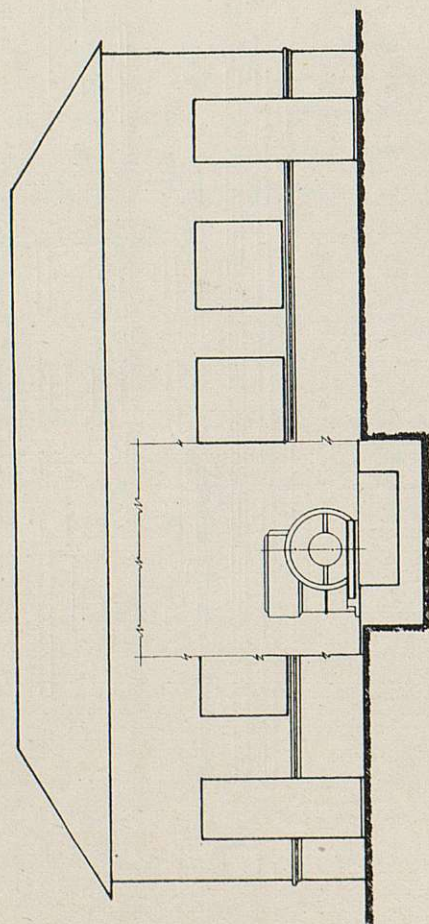
PLANTA

CENTRAL DE AIRE COMPRIMIDO
CON TURBINAS DE VAPOR

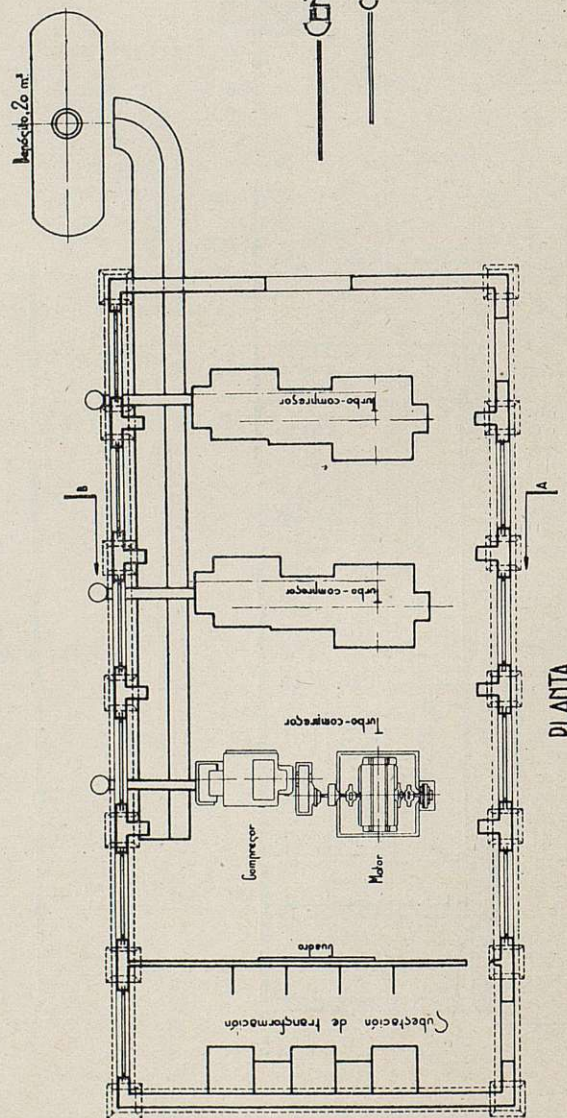
Escala = 1:200



SECCION AB



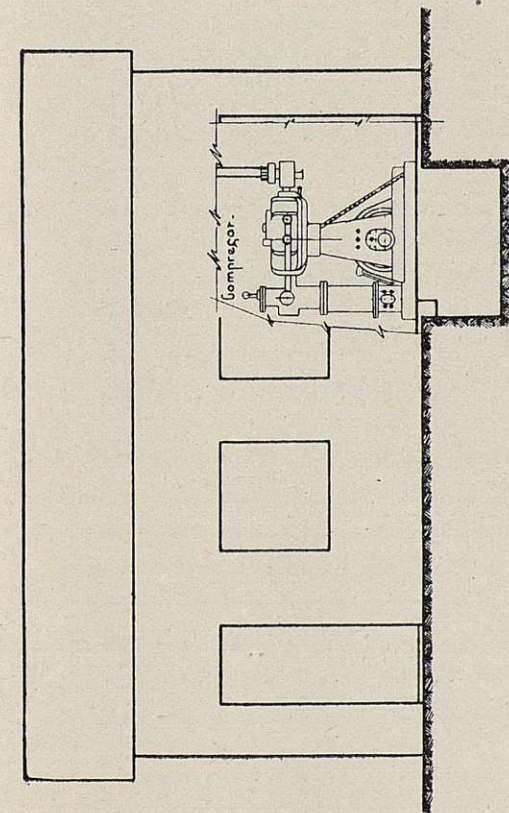
ALZADO



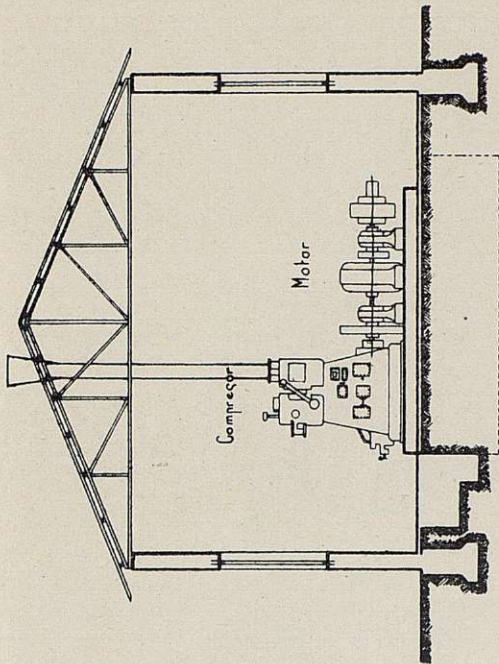
PLANTA

—CENTRAL DE AIRE COMPRIMIDO—
—CON TURBO-COMPRESORES—

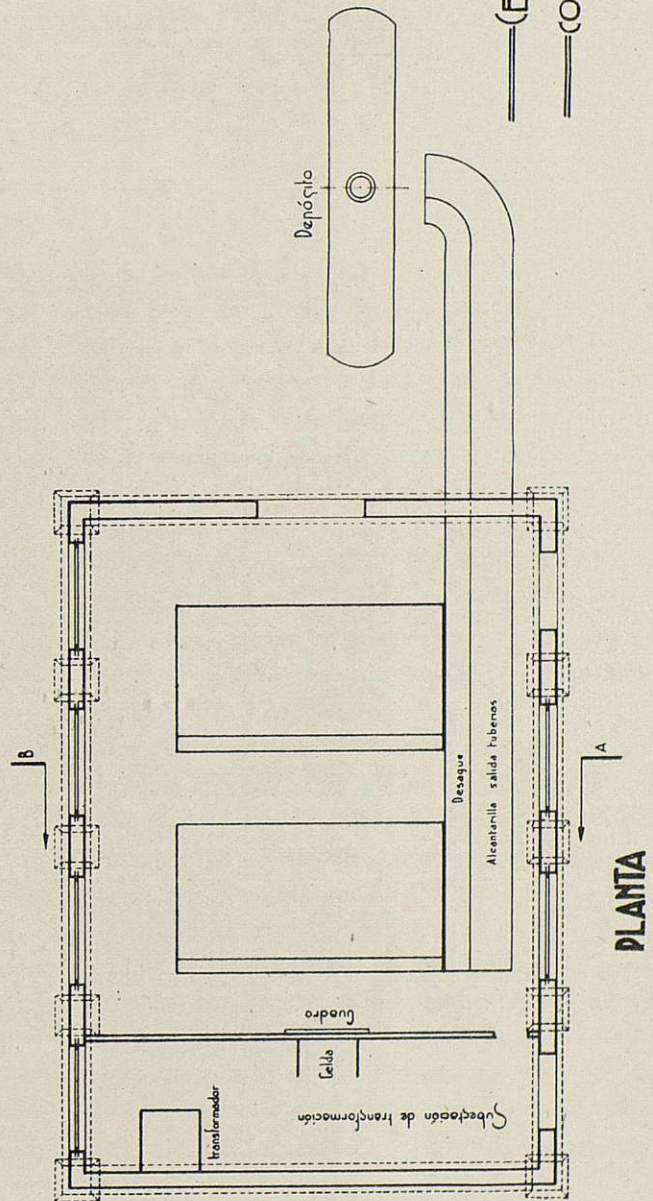
Escala = 1:100



ALZADO



SECCION A-B



PLANTA

—CENTRAL DE AIRE COMPRIMIDO—
—CON COMPRESORES DE PISTON—

Escala = 1:100

N.º 158. - Método de explotación por tajos diagonales

Autor: D. RAFAEL SUÁREZ DEL VILLAR

Ingeniero de Minas

Este método de explotación hace tiempo empleado, en Bélgica principalmente, no se usaba en España hasta la fecha.

Los informes que, como resultado de sus visitas a dicho país, hicieron los Ingenieros Sres. Caso y López Smeetz, en los que encomiaban los resultados obtenidos con la explotación por dicho método, movieron al Sr. Jefe de Minas de la S. M. Duro-Felguera a dar órdenes en el sentido de que se ensayase este procedimiento de arranque en las explotaciones de esta Sociedad.

En el Grupo Siero se empezaron los ensayos en enero de 1947, y, en este corto trabajo, pretendemos dar a conocer los resultados obtenidos.

DESCRIPCIÓN

En el Pozo Mosquitera núm. 1, donde se hicieron los ensayos aludidos, hay tres plantas de extracción a 40-150 y 260 mts. de profundidad, con dos niveles intermedios, que dividen en dos los pisos de 110 mts.

Quedan de esta forma cuatro talleres de 55 metros de altura en cada capa.

Para la explotación por el método de tajos diagonales se da al frente de arranque una inclinación de

35° a 40° sobre la horizontal; la longitud del frente es de unos 90 mts. (fig. 1).

El frente se divide en escalones de 7,50 de longitud, lo cual permite la colocación de 9 ó 10 picadores, ya que podemos colocar uno en la sobreguía y otro en el nivel. Esta longitud de 7,50 puede variarse si se desea colocar más picadores, acortándola hasta 5 mts.; tiene esto el inconveniente de que como el avance suele ser de más de 5 mts., se alcanzan rápidamente los tajos, dando más trabajo al vigilante que tiene que cambiar los picadores. No se aconsejan distancias más cortas, pues el carbón picado pudiera lesionar al picador del tajo inferior, al avanzar el del superior más que éste.

La altura de cada uno de los escalones es normalmente de 1,20 mts., con una inclinación de 60° sobre la horizontal, aunque en algunas pruebas hemos comprobado que se pueden poner perpendiculares a la horizontal, sin disminución del rendimiento por pica y con mejora para la ventilación.

Cuando los hastiales son muy falsos, hay que prevenir las consecuencias que tendría el que el relleno tirase alguna posteadura, ya que con el sistema corriente de posteo en estos tajos, que es el de bastidores perpendiculares al frente con dos mampostas, es fácil que esto ocurra. En este caso hemos ensayado

tajos de 250 mts., en los cuales resulta más difícil derribar una posteadura, ya que los bastidores son de 2,50 metros con sus mampostas. El resultado ha sido bueno.

Las noticias que teníamos indicaban la conveniencia de usar chapas por encima del relleno, para que bajase el carbón, y de acuerdo con ellas así iniciamos la explotación.

Los primeros días ya empezamos a notar los inconvenientes de las chapas. Si se daba mucha inclinación, el carbón, al ser picado, caía sobre ellas, saltando y pudiendo fácilmente lesionar al picador del tajo inferior. Para evitar esto se ordenó hacer pequeñas contenciones al carbón en cada tajo, pero debido a faltas de cuidado por parte de los picadores, al acumularse el carbón daba lugar a obstrucciones en la ventilación.

El ruido que hacía el carbón al caer en las chapas, era bastante molesto y se quejaban de ello; por otra parte, todos los días se tenían que levantar y volver a colocar las chapas para rellenar.

Esto nos movió a prescindir de ellas, dando algo más de inclinación al taller, para que bajase el carbón por el relleno, como actualmente lo hacemos, aunque esto tiene la desventaja de que si no se tiene cuidado, puede quedar carbón en el taller o sacar tierra del lavadero.

La distancia que suele haber del relleno a los tajos es de 1,5 a 2 mts.; la tubería de aire comprimido hay que cambiarla todos los días. Como los tubos son de 5 mts. y llevan cada uno 4 tornillos, había que quitar y poner éstos a diario, lo que daba origen a un gasto considerable de los mismos, por su inutilización o pérdida. Además, al rellenar saltaban costeros que estropeaban la tubería, produciendo roturas o abolladuras, con la consiguiente pérdida o rendimiento de aire.

Probamos entonces a substituir la tubería por manguera de aire comprimido de 19 mm., y, para no darle excesiva longitud, pusimos dos trozos de 40 metros cada uno, de los cuales, uno iba enchufado al nivel superior y el otro al inferior. Cada uno de estos trozos lleva 4 enchufes para tomas de aire, en los cuales hacen su toma los picadores. (En los niveles también tienen otro enchufe.)

El resultado de esta tubería fué muy bueno, pues cuando se va a rellenar se retira la mitad hacia arri-

ba y la otra mitad hacia la parte inferior, y en cuanto a duración y resultados, tenemos aún en el taller Peñona la primitiva manguera, puesta allí hace veintisiete meses.

Los picadores empiezan su avance hacia la parte inferior del taller, por el tajo que se les designe, aunque es conveniente, siempre que ello sea posible, que empiecen por el tajo del nivel superior y bajen con él hasta el inferior, para que de esta forma recorran toda la longitud del taller y no protesten de que les toca un mal tajo.

La formación del taller en tajos diagonales es sencilla. No es necesario interrumpir el trabajo, si se está explotando por el método de testers. Se hace un croquis del taller y se dibuja la línea ideal del mismo formado en tajos. Sólo queda ir avanzando los testers, marcando en el croquis los avances hasta alcanzar esta línea y rellenar rápidamente, pues los tajos inferiores son los que más deben avanzar.

Formado el taller, y como anteriormente decíamos, empieza el avance hacia la parte inferior. Al principio, y por tratarse de método nuevo, con objeto de evitar accidentes, pusimos picadores de primera a trabajar en el taller, confiando en que su experiencia en trabajos de mina evitaría todo accidente que, aunque no fuera imputable al método, sería origen de descrédito para el mismo.

No tuvimos buen éxito, sin embargo, con dichos picadores. Todos ellos, habituados desde años atrás a otro sistema de trabajo, miraban éste con recelo y no ponían en su trabajo el esfuerzo que se podía esperar de ellos.

Viendo que estos obreros no daban el resultado esperado, decidimos cambiarlos de taller, y se puso en su lugar aprendices, que no se vieron influidos en su trabajo por el recuerdo del sistema de testers, en el que tampoco tenían experiencia. De esta forma, con picadores que sólo llevaban de uno a cuatro meses picando, obtuvimos resultados mucho mejores que anteriormente, hasta el extremo de que, de no sacar el mínimo los primeros, pasamos a obtener jornales que sobrepasaron dicho mínimo en un 150 %.

En cuanto al arranque tiene este método la desventaja de dar más trabajo a los vigilantes, pues los avances de los picadores son mucho mayores, ya que se efectúan en un frente de 1,20 mts., en vez de hacerlo,

como es normal en este Grupo, sobre series de 5 metros. Como consecuencia, las diferencias de avances de los picadores son más acusadas, y el vigilante, al alcanzar un tajo al inferior, tiene que cambiar a los picadores y hacer combinaciones con los mismos, efectuando al mismo tiempo mediciones más frecuentes.

Otro inconveniente es que hay que sacar el carbón a diario para poder rellenar, y cuando el taller lleva tierra, tienen que ponerse todos los picadores a regar al mismo tiempo para evitar que se saque la tierra mezclada con el carbón.

Estos inconvenientes se traducen en mayor trabajo para los vigilantes y aún para los capataces, razón por la cual no suelen ser muy partidarios de este sistema.

Las fallas encontradas durante la explotación no constituyen ningún impedimento para la aplicación de este sistema, pues su paso ofrece análogas dificultades a las encontradas en el sistema de testers.

En una falla encontrada durante la explotación de la capa Peñona, y cuya dirección era paralela al frente del taller, se formó éste por delante en una semana. Claro está que en esta semana el taller apenas dió producción, pero de tener el sistema de testers creemos que hubiera pasado lo mismo.

Otras fallas encontradas en distintas direcciones se pasaron de igual forma que en el sistema de testers, dando contraataques en la zona de falla, etc.

El carbón picado cae sobre el relleno deslizándose por éste hasta la parte inferior del taller, donde se deposita en una pequeña tolva que se forma y se carga en los vagones.

Este sistema permite colocar en el taller unos 9 ó 10 picadores con un vigilante y un posteador. Al proceder a rellenar el taller es necesaria la presencia de otro posteador con un pinche.

ENTIBACIÓN

Es muy variable en estos talleres, pues depende, como es natural, de la dureza del carbón y seguridad de los hastiales.

En el gráfico núm. 2 pueden verse distintos sistemas de posteo en tajos de un mismo taller, según la seguridad de hastiales y dureza del carbón. Las notas que a continuación damos, creemos bastarán para

dar idea de las formas de posteo, que no difieren casi de las empleadas en el sistema de testers.

Cuando el carbón es duro o de dureza media y los hastiales son firmes, basta poner frenos en la niveladora cada metro aproximadamente.

Si los hastiales son menos seguros, aunque todavía puedan considerarse como firmes, se apoyan las mampostas en bastidores de 2,50 mts. colocados en dirección a la niveladora. Tanto en este caso como en los siguientes hay que tener en cuenta que si uno de los hastiales es firme, se puede prescindir en él del bastidor.

Si es blando el carbón y seguros los hastiales, conviene poner frenos primero, y debajo de éstos se postea con bastidores en dirección y mampostas apoyadas en ellos. Conviene que los bastidores queden inmediatamente debajo de los frenos para sujetar a éstos. También, si es necesario, se ponen bastones encima de los frenos.

En caso de hastiales falsos con carbón semiduro, se ponen bastidores de 1,20 mts. (altura del tajo) con dos mampostas, de las cuales la superior hace de freno. La dirección de los bastidores es perpendicular a la niveladura. Si el carbón fuera muy blando se pondría primero un freno e inmediatamente debajo de los bastidores.

Cuando los hastiales son muy falsos y hay peligro de que, al fallar un cuadro, sobrevenga un hundimiento, hemos ensayado, y da buenos resultados, el poner los tajos de 2,50 mts. en lugar de 1,20. Los bastidores son en este caso de 2,50 mts. y llevan 3 mampostas.

Como puede verse, en la mayoría de los casos se emplea el posteo correspondiente a hastiales falsos y carbón de dureza media, que es lo más corriente, o sea, bastidores de 1,20 mts. perpendiculares a la niveladura, con dos mampostas.

No hemos explotado, hasta la fecha, por este sistema, capas de potencias superiores a 1,50 mts. pero creemos (y nos proponemos experimentarlo) que no hay dificultad en emplear este método, aunque deberá llevarse más cuidadosamente el posteo. Si hasta la fecha no lo hemos hecho ha sido debido a que, por tratarse de un método nuevo en Asturias, hemos tomado el máximo de seguridad para evitar, como ya hemos dicho, que un accidente pudiera dar al

traste con el sistema, que se miraría con recelo, aunque dicho accidente no fuera imputable al método.

RELLENO

Se hace éste basculando los vagones en el taller por donde la tierra baja por gravedad, ayudada en ocasiones por el posteador y pinche que entran a la hora de hacer dicho relleno.

Después del relevo de arranque y al retirarse éste, se efectúa el disparo en el nivel, dejando la tierra de éste en un tablero o contención, para evitar que, si se desprenden piedras muy gruesas, puedan derribar las posteaduras al bajar por el taller.

A continuación llegan un posteador y un pinche, cuya primera operación es echar esta tierra al taller, después de limpiar la parte superior de éste de carbón y hacer a pocos metros una contención o replén. Antes de echar esta tierra, recuperan la madera que ha de quedar enterrada por el relleno, siempre que esto sea posible.

La manguera del taller deben recogerla los picadores al salir, para evitar que se averíe al disparar en el nivel o al efectuar el relleno, bajando la de la mitad inferior y subiendo la de la superior.

Una vez echada la tierra del nivel al taller, siguen hacia abajo el posteador y el pinche limpiando el carbón, recuperando la madera posible, tras hacer de cuando en cuando pequeñas contenciones para evitar que el relleno siga hasta el fondo del taller y no dé lugar a sacar todo el carbón.

Mientras hacen en el taller esta operación, en la parte superior se van basculando los vagones de relleno necesario, que vienen a ser unos 25, en los talleres que tenemos actualmente.

Si los costeros son gruesos, es difícil una limpieza a fondo del taller, y puede fácilmente dejarse carbón en el mismo. Para evitar éste, y siempre que no ocasione muchas dificultades, es conveniente que los últimos vagones basculados lo sean de tierra menuda del lavadero, que se alisa un poco y hace una superficie buena para bajada del carbón por el taller.

Para bascular los vagones no llevan estos talleres basculador, pues como el nivel hay que avanzarlo todos los días, habría que retirarlo para disparar, y se ocasiona con esto muchos gastos. El sistema empleado es hacer un rebaje en la galería, para que caigan

en él las dos ruedas delanteras del vagón, quedando contenido éste por una pieza de madera. Para vaciarlo es necesario ayudar algo a pala.

Aunque el rellenar todos los días es un inconveniente, por las dificultades de transporte, y es siempre mejor el relleno con los basculadores, no creemos resulte más caro este procedimiento, pues todos los vagones basculados se llenan luego de carbón en el taller superior (excepto en primera planta), aprovechándose de esta forma el transporte. Si se basculasen 200 o más vagones, no podrían sacarse llenos de carbón y el transporte se encarecería.

Los hombres que basculan los vagones, y que por lo general son dos, tendría que estar también, en el caso de tener basculador, para mover los vagones, y aunque si tuvieran dicho basculador la tarea efectuada sería mayor, se compensa esta disminución de rendimiento con el mayor coste que supone su instalación.

RESULTADOS OBTENIDOS

Por los adjuntos gráficos puede obtenerse una idea del resultado de este método. Nos limitamos a los gráficos de los talleres instalados en dos capas: Peñona y Florina.

Los costes señalados en los gráficos que a ellos se refieren, no son los reales obtenidos en la explotación, sino proporcionales a los mismos, tanto en el año 1947 como en los siguientes, se ha seguido el mismo criterio para todos.

Rendimiento.

En la capa Peñona tenemos actualmente en explotación 4 talleres de 55 mts. verticales.

Aunque pudiéramos haber puesto los cuatro en explotación por este sistema, hemos preferido poner solamente dos, para poder comparar los resultados obtenidos con los otros.

Estos dos talleres son los intermedios, es decir, que el taller inferior y el superior de los cuatro se explotan por testers, y los otros dos, por tajos diagonales.

Se empezó a usar este sistema en enero de 1948, y en la actualidad seguimos con él en unas 10 explotaciones.

Antes de su uso, el rendimiento normal del taller, según puede apreciarse en el gráfico, era de unos cuatro vagones por pica. Se puede ver fácilmente el incremento obtenido en cuanto a rendimiento en el taller de primera sobre tercera, en el cual se llega a 8,3 vagones por pica y, en general, hasta la fecha se mantiene por encima de los otros.

En el taller de segunda se ve que al principio el rendimiento es bajo, debido a que hubo una falla, pero actualmente es el de más rendimiento de la capa.

También pueden apreciarse las grandes variaciones que sufren los rendimientos, los cuales son achacables a irregularidades en las capas, no sólo debidas a pequeños saltos, sino también a variaciones en dureza del carbón, seguridad de hastiales, etc.

Las zonas punteadas del gráfico corresponden al paso de una falla, en que hubo necesidad de formar el taller de nuevo por delante, ya que el salto era de 28 mts.

Más claramente aún que en esta capa, puede verse el aumento de rendimiento en la capa Florina, donde la media de vagones por pica era de unos 5 vagones y pasa a 6.

En cuanto a los picadores que trabajan en el taller, ya hemos dicho anteriormente que, por regla general, son ayudantes de picador o pinches que están aprendiendo, de forma que no se puede achacar el aumento de rendimiento a la mejor clase de los mismos.

Coste.

Los gastos de explotación en estos talleres disminuyen en forma apreciable, debido principalmente al menor consumo de madera.

En los gráficos adjuntos 5 y 6 se ve que, comparados los precios actuales con los que había en el año 1947, son algo superiores aquéllos. Aunque esto pueda parecer a primera vista que este sistema aumenta el coste de explotación, no es así, pues dicho coste ha sufrido un incremento notable en el período comprendido entre dicho año 1947 al actual. Si comparamos los precios medios de explotación actuales (enero de 1950) con los del año 1947, vemos que han sufrido un incremento del 50 por 100 en todos los talleres.

En la capa Florina el incremento es de 32 a 38,

y no al 48 como debiera ser, si hubiese aumentado en este taller como en el resto de las explotaciones, y en La Peñona se ve que, por regla general, los talleres en diagonal conservan más bajo su precio de coste.

Coincidiendo con las fallas aumentan los precios de coste, y pueden apreciarse en los gráficos de rendimiento, que estos aumentos coinciden con la disminución del mismo.

Producción.

Al incrementarse el número de picadores en estos talleres y mejorar su rendimiento, aumenta la producción.

Se ve que, en general, los talleres en tajos dan una producción sensiblemente mayor que los de testers.

Este aumento nos permite con menos número de talleres dar la misma producción, con todas las ventajas que se derivan de la concentración de personal y producción, pues de esta forma se vigila mejor y no se tiene diseminado el material de transportes.

Por otra parte, un deshullamiento rápido, supone un mayor avance de las explotaciones, cosa conveniente desde el punto de vista de conservación de galerías, ya que si suponemos los recortes desde las galerías generales de transporte, dados a distancias fijas, al aumentar el avance cada trozo entre dos recortes, dura menos y, por tanto, hay menos conservación, capítulo que, dados los precios de la madera, supone mucho en el coste total.

CONCLUSIÓN

Creemos, pues, que como consecuencia de todo lo expuesto, mejoras de rendimiento, producción y coste; aumento de seguridad, etc., se debe ir a un aumento de explotaciones por este sistema. No debemos ser, sin embargo, excesivamente optimistas en cuanto a sus resultados, pues cuando las capas son de dureza grande, no debe emplearse, ya que en todas las que hemos probado disminuyó el rendimiento.

Es, sin embargo, positivo el valor del método, tratándose de capas de dureza media o blandas y poten-

cias inferiores a 1,50 mts. (no hemos experimentado con potencias mayores), independientemente de la seguridad que ofrezcan los hastiales.

Si la capa es segura, el aumento de rendimiento es notablemente superior, ya que permite poner los bastidores paralelos a la niveladura, con lo cual disminuye el tiempo de postear.

En cuanto a seguridad durante la explotación, hemos de resaltar que hasta la fecha no tuvimos ningún accidente imputable al método, a pesar del tiempo que llevamos con el mismo y de tener en la actualidad diez talleres en explotación.

(Véanse gráficos números 1 al 7 que siguen.)

Los reunidos estiman que este procedimiento supone avance considerable sobre los resultados conseguidos en otros intentos, por lo que respecta a las condiciones favorables de aplicación que presentan las capas carboníferas asturianas, aunque quizás presente la desventaja de poder emplear menos obreros para un frente determinado de arranque, aunque puede compensarse por un aumento de dos o tres turnos, con las ventajas consiguientes.

A continuación se lee el trabajo núm. 145 que va seguido a los gráficos del 1 al 7 que se insertan.

MÉTODO DE EXPLOTACIÓN POR TAJOS DIAGONALES

DIVERSAS FORMAS DE POSTEO

Escala 1:250

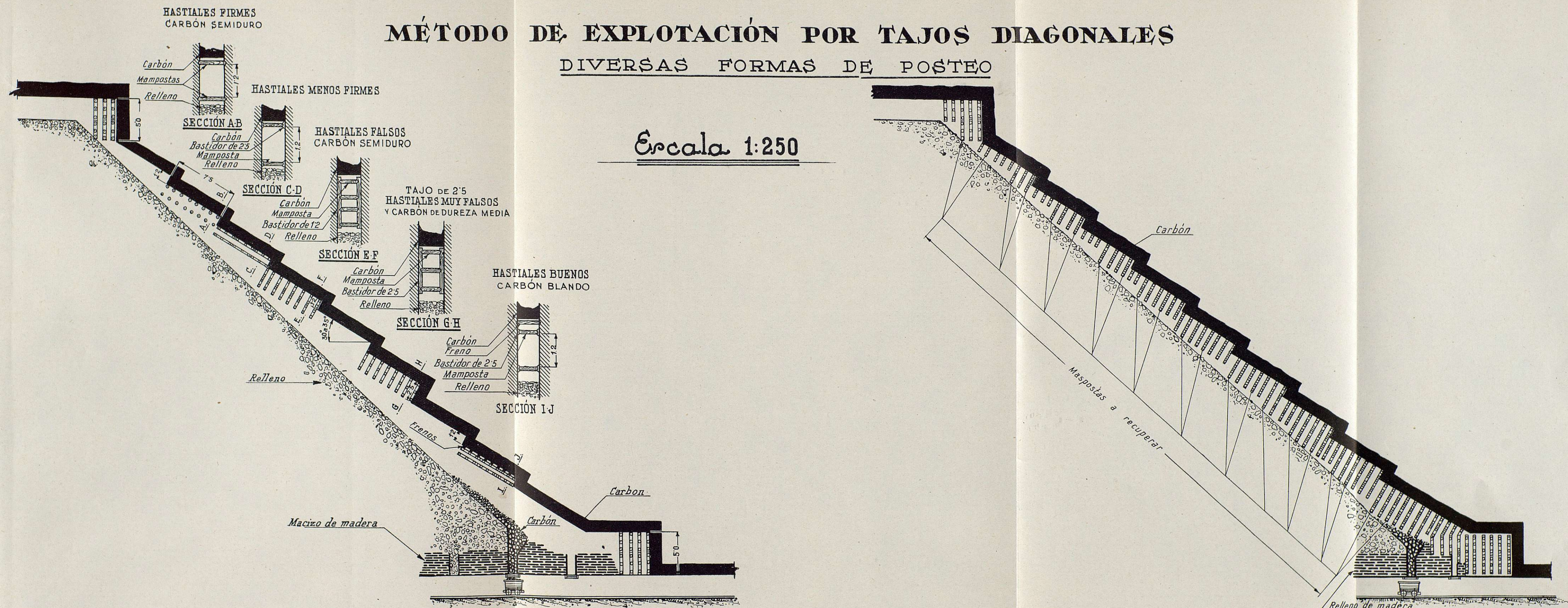


Fig. 1

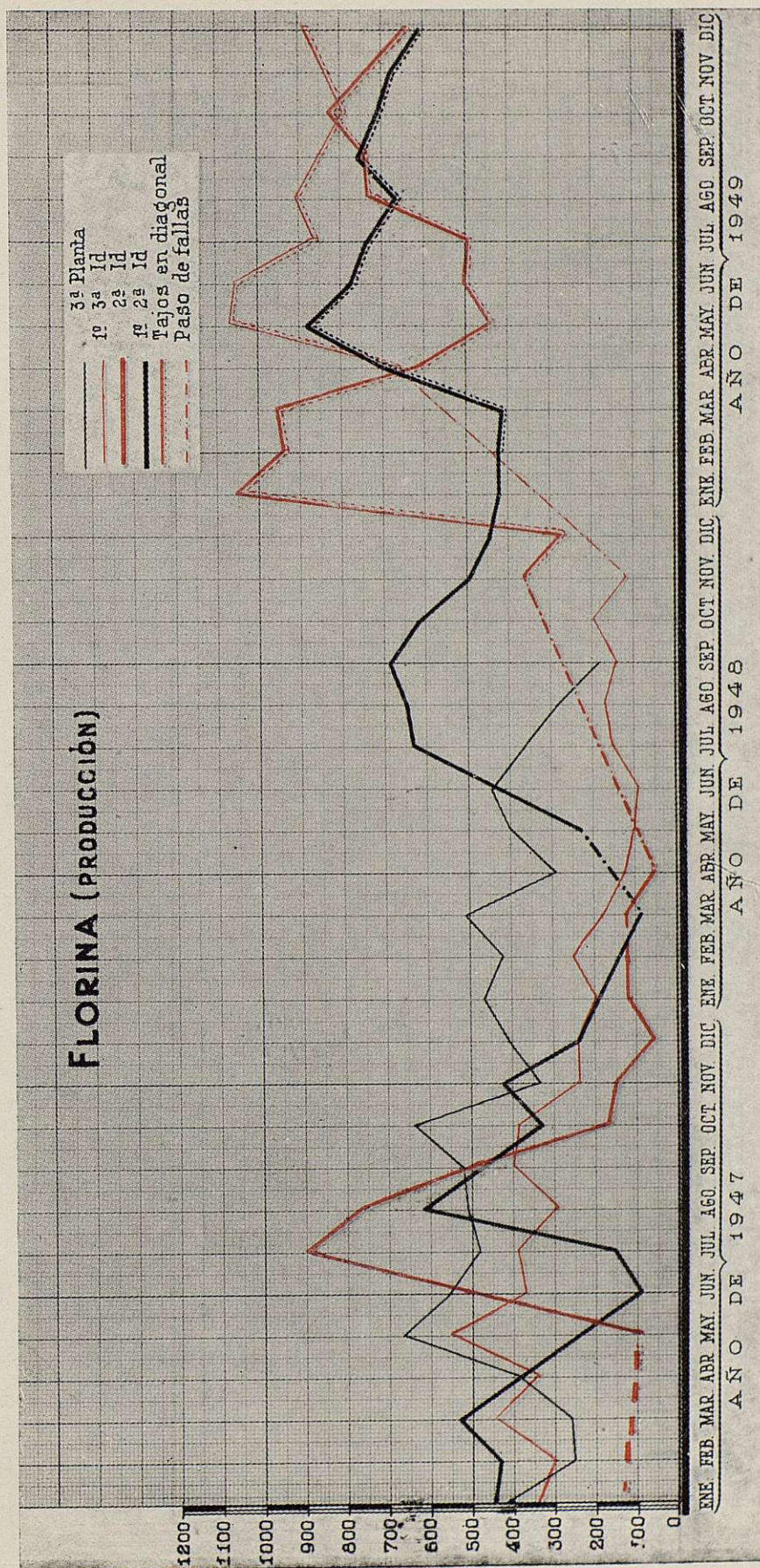


Fig. 2

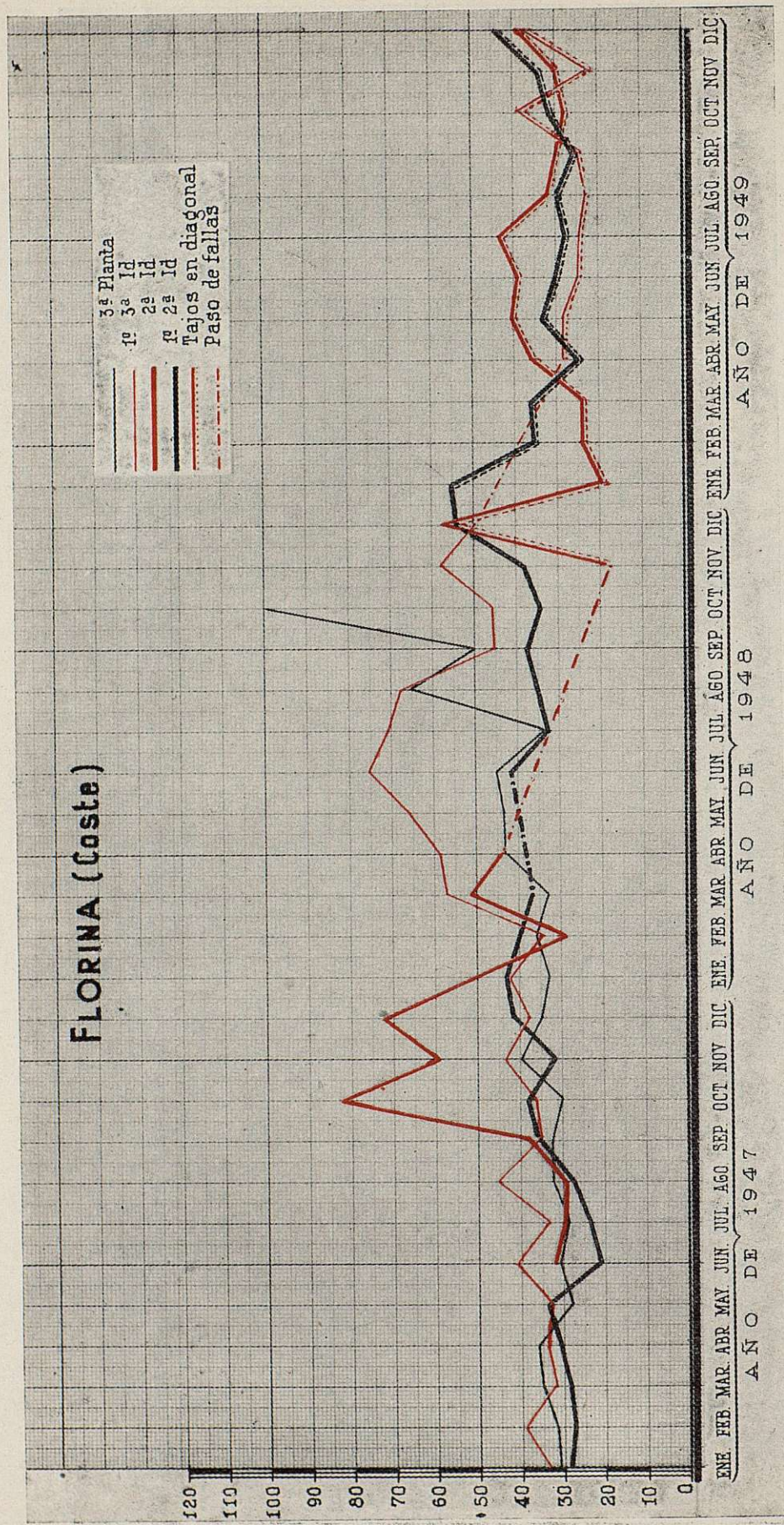


Fig. 3

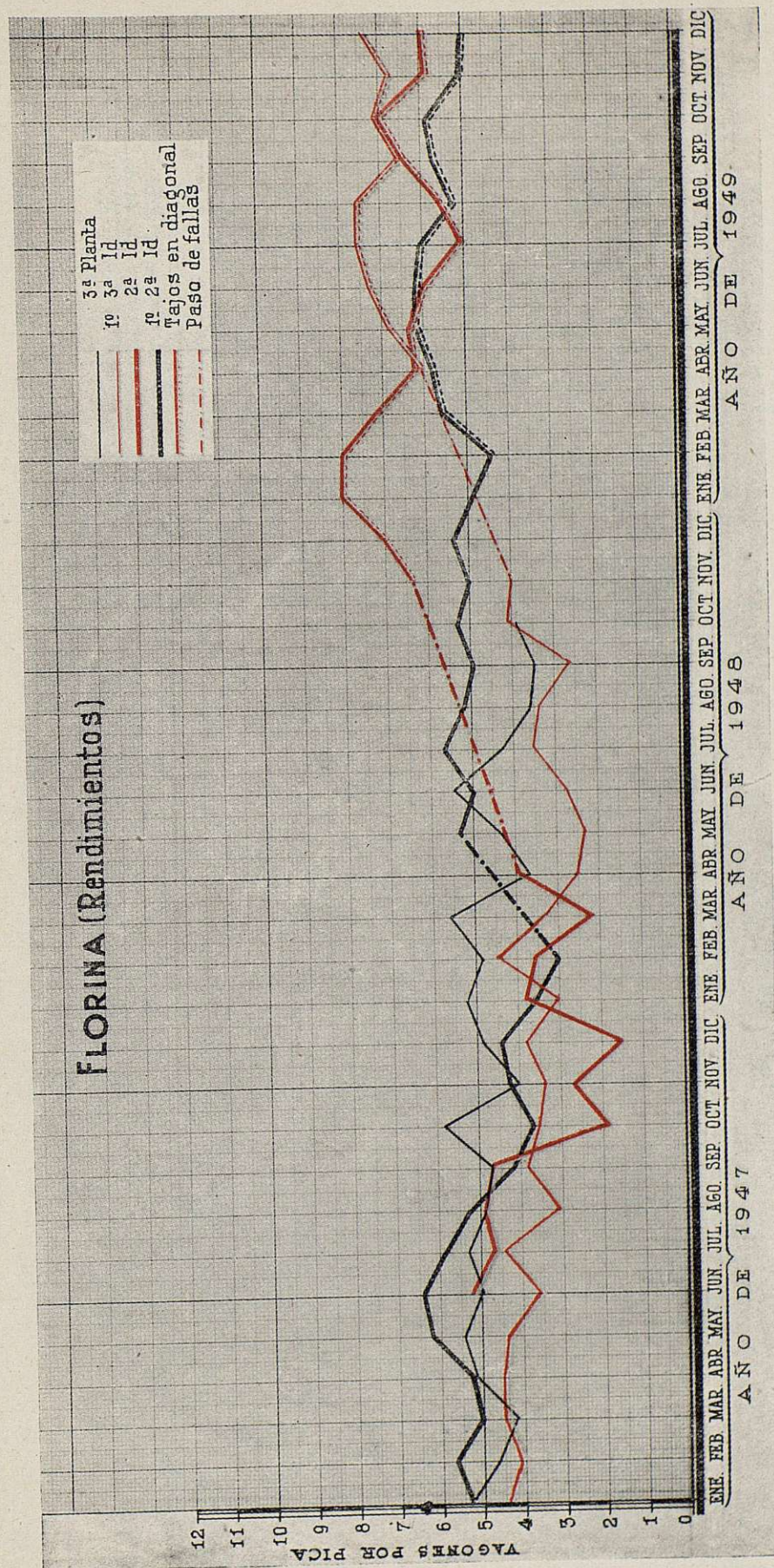


Fig. 4

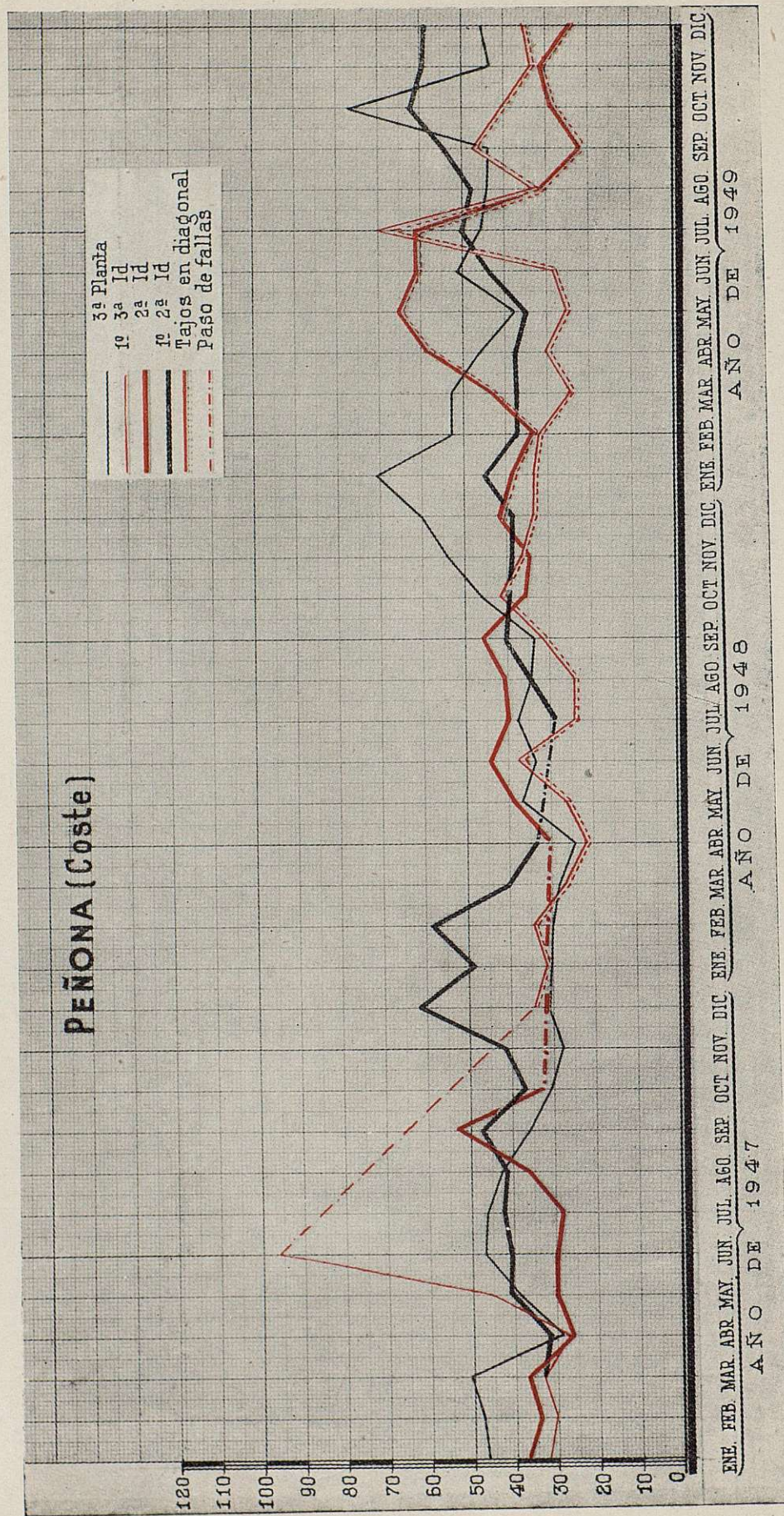


Fig. 5

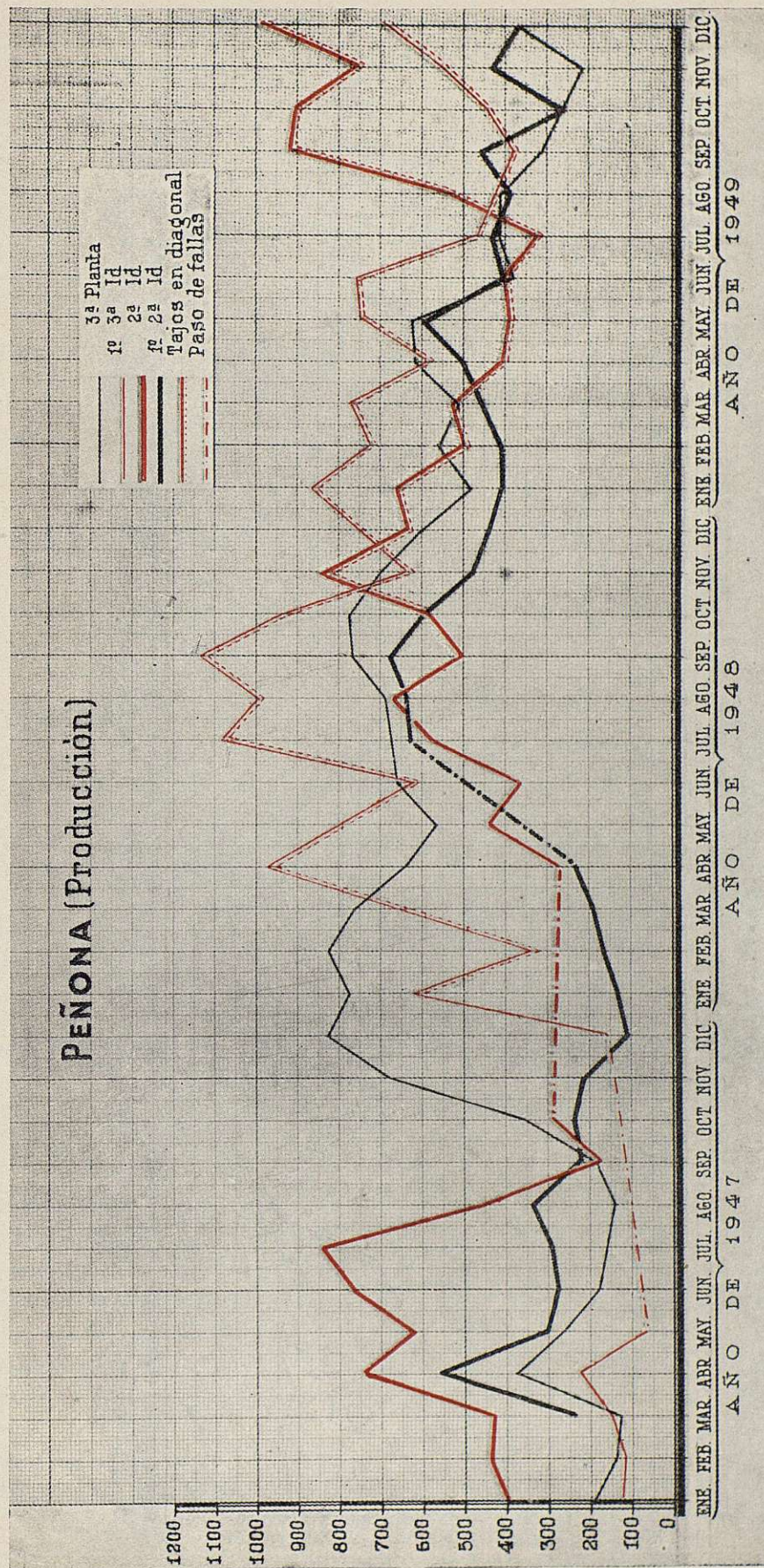


Fig. 6

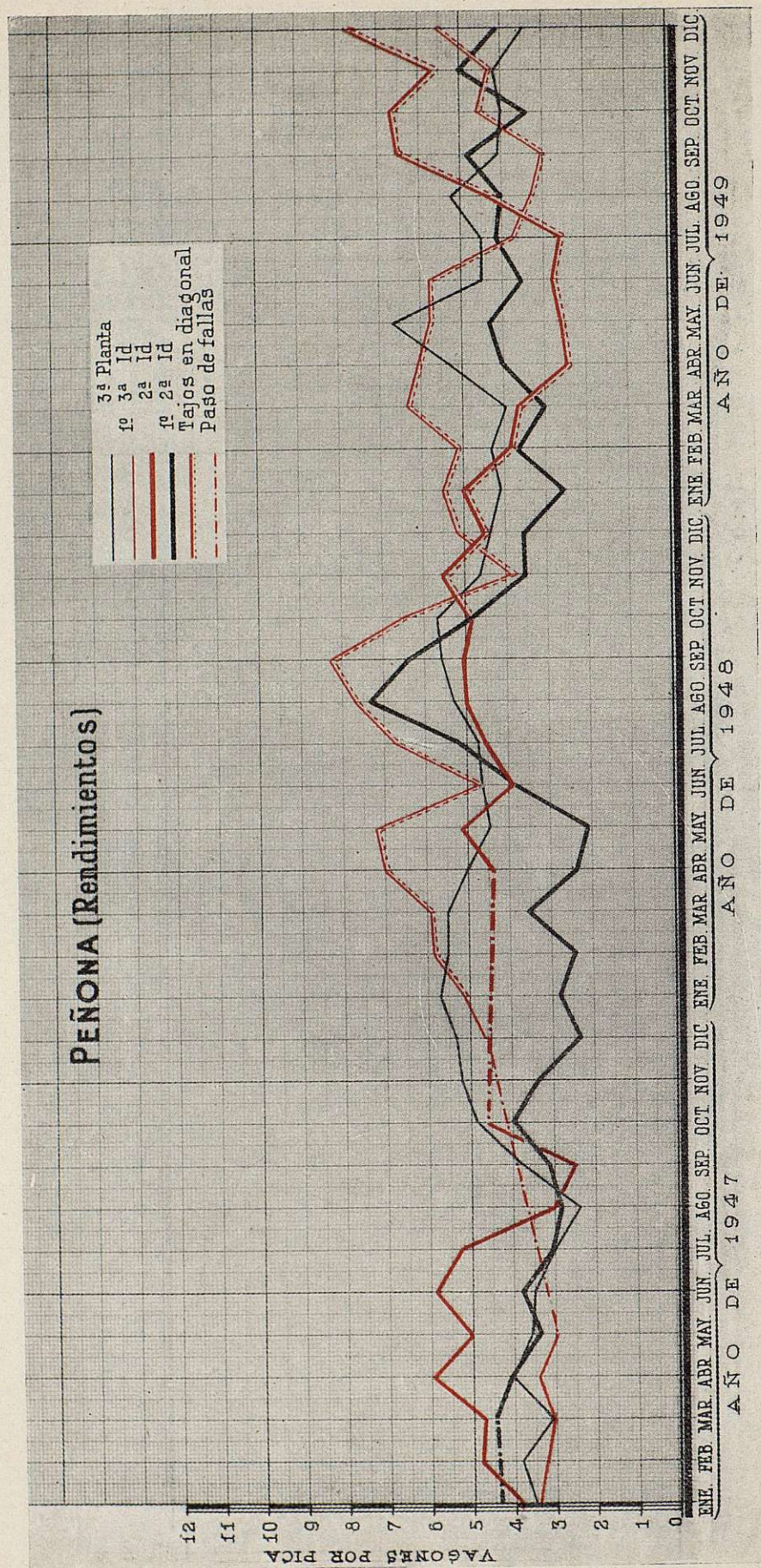


Fig. 7

N.º 145. - Ante el déficit de nuestro balance energético

Autor: D. LUIS MARQUET TORRENS

Ingeniero Industrial

0) ANTECEDENTES

a) IDEA DE LAS NECESIDADES MUNDIALES DE ENERGÍA

Las necesidades actuales del mundo moderno de la postguerra, expresadas en calorías, se cifran en unas 18.462×10^{12} anuales, que quedan cubiertas por las fuentes de energía que a continuación se indican, y cuya participación sobre el conjunto es la siguiente:

1.º Combustibles sólidos	{	Antracita y hulla... ..	53.— %	{	63.2 %
		Lignito... ..	5.6 %		
		Leña	4.2 %		
		Turba	0.4 %		
2.º Combustibles líquidos...			27.6 %		
3.º Gas natural			8.6 %		
4.º Energía hidráulica... ..			0.6 %		

Los porcentajes indicados sólo tienen un valor medio como estadística general, ya que para un país determinado poseen un carácter específico nacional. Así, por ejemplo, mientras en el Canadá, Estados Escandinavos, Suiza, etc., etc., su principal fuente de energía es la hidráulica, en Checoslovaquia y Alemania sacan del carbón la casi totalidad de su energía eléctrica.

Vemos, pues, que hoy día continúan siendo los combustibles sólidos —casi exclusivamente el carbón—

la fuente principal de energía para el conjunto del mundo, a pesar de que cada día es mayor el consumo de combustibles líquidos (antes de la guerra contribuían sólo con el 17,9 %). También cada día es mayor la importancia que adquiere el gas natural como fuente de energía, y que, en poco tiempo, ha cuadruplicado su aportación al conjunto de necesidades mundiales energéticas.

Afortunadamente, las reservas de carbón, primera fuente mundial de energía, son muy importantes y se estiman en $7.397.553 \times 10^6$ toneladas (*Congreso Internacional de Geología en 1913*), que representan 6.000 veces el consumo anual del mundo en la actualidad, por lo cual no es de temer un pronto agotamiento de los suministros de carbón. No puede decirse lo mismo del petróleo, cuyas reservas conocidas se calculan como muy limitadas, por lo cual deberá revisarse la política de distribución del preciado líquido, para restringir su consumo al estrictamente indispensable, buscando en la obtención sintética de los carburantes y lubricantes necesarios a partir del carbón, como el medio más apropiado para paliar esta situación. *Carbón, aire y agua son la clave del problema y los fundamentos de la nueva y potente industria químico-orgánica pesada.*

b) NUESTRO BALANCE ENERGÉTICO.

Adoptamos este año como término de comparación, por considerar que durante el transcurso del mismo, si bien las actividades industriales y comerciales de nuestro país se desarrollaron con una relativa anomalía a consecuencia de las agitaciones políticas y sociales reinantes en aquel entonces, sin embargo quedaron cubiertas las necesidades energéticas de España mediante sus fuentes propias y por los productos que se importaron.

El consumo energético en 1935, expresado en calorías —como antes se ha establecido para las necesidades mundiales— resultó ser de:

	Toneladas	Calo- rías x 10 ¹²	% del conjunto
1.º <i>Combustibles sólidos</i>			
Hulla, antracita y derivados	6.771.025	50,783	74,10
Lignito... ..	248.689	1,442	2,10
Total carbón... ..		52,225	76,20
Leña	1.480.000	5,920	8,65
Carbón vegetal importado.	4.136	0,030	0,05
Total combustibles sólidos... ..		58,175	84,90
2.º <i>Combustibles líquidos</i>			
Petróleo y derivados ...	771.918	7,719	11,40
3.º <i>Energía hidráulica</i>			
Producción eléctrica en Kwh.	2.992.641.000	2,574	3,70
Total de energía en 1935		68,468	100,00 %

De manera que en 1935, adoptado como punto de partida, el consumo de energía en España representó 68 y 1/2 billones de calorías, en cifras redondas, que representaba el 1/183 de la energía mundial en aquella fecha, cifrada en 12.580 billones de calorías anuales, según la revista *Petroleum Times*.

Obsérvese que en nuestro país el 85 % aproximadamente de nuestras necesidades quedaban cubiertas por los combustibles sólidos, participando el carbón, entre estos últimos, en un 90 %, sin que dispusiéramos de turba como en otros países. La participación de los combustibles líquidos le sigue a gran distancia, pero el hecho de no contar nuestro suelo con yacimientos petrolíferos (los sondeos efectuados son poco esperanzadores), obliga a importar los combustibles líquidos necesarios, lo cual crea una situación de dependencia peligrosa en caso de conflicto armado, obliga a invertir divisas de las cuales estamos

escasos y los envíos quedan supeditados a los vaivenes de la política mundial en la distribución de las materias primas. Nótese la falta del gas natural, fuente importante de energía para muchos países, y que recientemente los franceses han conseguido hallar no muy lejos de nuestra frontera. Queda en último lugar la aportación de la energía hidráulica, poco explotada aún en nuestro país.

c) NUESTRAS NECESIDADES ACTUALES.

Partiendo de la energía consumida en 1935, deduciremos en cualquier momento nuestras necesidades mediante la simple fórmula:

$$68,468 \times 10^{12} (1 + a)^n \text{ calorías/anuales}$$

siendo:

n = número de años transcurridos desde 1935.
 a = el aumento vegetativo medio anual.

Examinando los valores medios de dicho aumento vegetativo en épocas normales y adoptando con criterio moderado el de 5 % anual, las *necesidades energéticas en nuestro país en 1948* (en este caso $n = 13$) serán del orden siguiente:

$$68,468 \times 10^{12} \times (1,05)^{13} = 129,062 \times 10^{12} \text{ calorías}$$

(El hecho de haber tomado el año 1948 obedece a que en el momento de celebrarse el presente Congreso no se dispone de estadísticas oficiales completas más recientes.)

Si las diversas fuentes de energía de que dispone el país, hubieran participado en la misma proporción que en 1935, las necesidades actuales podrían haber sido cubiertas aproximadamente por:

1.º <i>Combustibles sólidos</i>	
Hulla, antracita y derivados	12.750.000 ton.
Lignito	468.000 »
Total carbón	13.218.000 ton.
Leña	2.790.000 »
Carbón vegetal importado	7.780 »
Total combustibles sólidos	16.015.780 ton.
2.º <i>Combustibles líquidos</i>	
Petróleo y derivados	1.456.000 ton.
3.º <i>Energía hidráulica</i>	
Energía eléctrica en Kwh.	5.640.000.000

Pero ya vemos que desgraciadamente no ha sido así.

1) NUESTRO BALANCE ENERGÉTICO

a) DÉFICIT DEL MISMO.

De todos es conocido que las fuentes de energía de que hemos dispuesto no han cubierto nuestras necesidades, y que se ha saldado nuestro balance con un importante déficit cuyo valor, en orden de apreciación, vamos a determinar.

Para ello bastará conocer la cantidad de energía, en sus diversas fuentes, de que pudo disponerse en el año 1948, y conociendo ya el orden de nuestras necesidades, deduciremos por simple diferencia el déficit o saldo negativo de nuestro balance.

Las disponibilidades en 1948 fueron de:

	Toneladas	Calo- rías x 10 ¹²	% del conjunto
1.º <i>Combustibles sólidos</i>			
Hulla, antracita y derivados	11.741.575	70,449	71,90
Lignito	1.324.679	5,045	5,10
Total carbón... ..	13.066.254	75,494	77,00
Leña	2.560.000	8,950	9,18
Carbón vegetal importado.	2.486	0,018	0,02
Total combustibles sólidos	15.628.740	84,462	86,20
2.º <i>Combustibles líquidos</i>			
Petróleo y derivados ...	896.000	8,960	9,20
3.º <i>Energía hidráulica</i>			
Producción eléctrica en Kwh.	5.226.361.726	4,495	4,60
Total energía en 1948		97,917	100,00 %
Recordando que las necesidades energéticas en 1948 las hemos cifrados en...		129,062	
Resulta un saldo negativo de		31,145	

Es decir, que el *déficit energético actual es del orden de 31,145 billones de calorías anuales, lo cual representa, en cifras redondas, que solamente han sido satisfechas, en 1948, el 76 % de las necesidades energéticas de España.*

b) CAUSAS DE DICHO DÉFICIT.

Del análisis comparativo entre nuestras necesidades actuales y las fuentes de energía de que hemos podido disponer se desprende, en primer lugar, que el carbón consumido debía haber casi bastado para cubrir aquéllas, y sin embargo no ha sido así, y, en segundo lugar, que las cantidades de combustibles li-

quidos y energía eléctrica han sido insuficientes. La falta de carbón, gasolina y energía eléctrica ha constituido un freno para el normal desarrollo de nuestras actividades industriales y comerciales.

Las principales causas de esta contingencia caben atribuirles a:

- 1.º Mala calidad del carbón producido.
- 2.º Despilfarro en el consumo de carbón.
- 3.º Dificultades para importar combustibles líquidos; y
- 4.º Sequía persistente que ha motivado restricciones eléctricas que pasamos sólo a comentar someramente.

Mala calidad del carbón producido.

Aunque las estadísticas oficiales publicadas desde 1935 vienen mostrando sucesivamente un aumento de tonelaje, no es menos cierto que tales aumentos han sido, en buena parte, más ficticios que reales, pues fueron logrados a costa de la calidad del carbón que actualmente contiene mayor proporción de humedad y cenizas.

Si efectuamos una debida comparación entre los principios inmediatos contenidos en las hullas, antracitas y lignitos actualmente, con los correspondientes a 1935 —que tomaremos como base = 100—, los números índice, que ahora resultarían, serían de 82, 75 y 74, respectivamente. Adoptando con criterio moderado 15 % para la baja de calidad de las hullas (que representa un índice = 85) y de 20 % para las antracitas y lignitos, resultará que el carbón producido en 1948 sólo representaba en toneladas:

Hulla, antracita y lignito producidos según estadísticas oficiales... ..	11.821.891 tons.
Producción resultante de una calidad equivalente a la de 1935... ..	9.907.891 »
Diferencia en menos...	1.914.000 tons.

Lo cual pone en evidencia que *fueron extraídas y transportadas, durante el año 1948, en pura pérdida, 1.914.000 toneladas de carbón*, cantidad que representa el 16,2 % de la cifra total que se da como producción de carbón, y que en realidad sólo es exceso de agua y cenizas.

De manera que la *producción de carbón* (hulla, antracita y lignito), que según las estadísticas aumentó en un 61 % en 1948 con respecto a la de 1935, en

realidad dicho aumento sólo fué de un 35 %, y, por lo tanto, insuficiente para cubrir nuestras necesidades actuales.

Aparte del perjuicio que representa la inmovilización de los medios de transporte ocasionados por las 1.914.000 toneladas de exceso de estéril citadas, sin ninguna utilidad y en momento de penuria de aquéllos, grava además la economía del país en unos 670 millones de pesetas (350 ptas. por ton. de carbón, comprendidos además los gastos de carga, transporte, descarga, acarreos y mermas) que ha debido pagar por ellas como si fueran en realidad carbón.

Despilfarro en el consumo de carbón.

A pesar de los progresos de la técnica moderna, en la mayoría de los casos no se utilizan racionalmente los carbones y en otros se consume con verdadero derroche. Alarma comprobar que en muchas industrias los rendimientos técnicos en hornos industriales son únicamente de un 10 a un 20 %, que es corriente la evacuación directa a las chimeneas de humos a 600 y 900°, sin recuperar el calor sensible que arrastran; en infinidad de calderas se queman combustibles inadecuados en parrillas no apropiadas y raramente se utilizan economizadores o precalentadores de agua. El aislamiento térmico de las instalaciones de calor se considera, en general, un lujo, y el aprovechamiento del vapor de escape, una bagatela, cuando en realidad son ambas cosas de imperiosa necesidad técnica y económica.

Asusta pensar cómo muchas industrias han aumentado inexplicablemente su consumo de carbón, sin que haya corrido parejas la producción. Los ferrocarriles, que en 1935 consumían 85 gramos de carbón por tonelada-kilómetro, han pasado ahora a 119 gramos, es decir, han aumentado en un 40 % sin justificación, pues un estudio que se hizo sólo pudo imputar a la mala calidad del carbón un 20 %. Las Siderúrgicas, que en 1929 consumieron 2.360 kgs. de carbón por tonelada de laminados, en 1947 dicho consumo específico llegó injustificadamente a 4.060 kilogramos, es decir, que en 1947, casi con el mismo tonelaje de carbón que en 1929, la producción de laminados sólo fué la mitad prácticamente. Y estos casos citados son tanto más importantes por constituir

los dos principales consumidores de carbón en nuestro país.

Dificultades para importar combustibles líquidos.

El empleo cada día más extendido del petróleo y sus derivados se ha visto obstaculizado en nuestro país por las dificultades surgidas en el aprovisionamiento de estos productos —de los cuales carecemos en nuestro país—, motivadas por la falta de divisas para el pago de las importaciones y por las circunstancias especiales de la política mundial en la post-guerra.

A título informativo comparamos las importaciones de dichos combustibles líquidos en los años 1935 y 1948, expresados en quintales métricos:

	Año 1935	Año 1948
Gasolinas	4.229.983 Q. M.	3.613.296 Q. M.
Petróleos lampantes	321.300 »	62.418 »
Aceites Diesel Gas-oil ...	1.070.809 »	1.735.385 »
» p/quemar Fuel-oil	2.097.094 »	3.548.905 »
	7.719.186 Q. M.	8.960.004 Q. M.

Lo cual representa que, en 1948, sólo se ha podido disponer de un 16,2 % más que en 1935, cuando, de haberse desarrollado normalmente todas nuestras actividades industriales, en la actualidad habríamos precisado un 65 % más de lo que dispusimos en 1948, y que representaron un valor de 83.356.654,00 pesetas oro. Desgraciadamente, pues, las disponibilidades de combustibles líquidos no pueden seguir el ritmo de nuestro crecimiento industrial por las dificultades apuntadas.

Sequía persistente que ha motivado restricciones eléctricas.

La producción de energía eléctrica en España durante los veinticinco años últimos puede dividirse en cinco períodos bien determinados, a saber:

Primer período.—NORMAL.—Abarca desde 1925 a 1930, de creciente desarrollo industrial a consecuencia de una época de normalidad política, social y económica. La producción eléctrica, que en 1925 fué de 1.696.000.000 de Kwh. (con una potencia instalada de 781.000 KVA.), alcanza en 1930 la de 2.609.000.000 Kwh. (potencia instalada, 1.319.000 KVA.), registrándose un aumento vegetativo del 11,1 % anual.

Segundo período.—ANORMAL.—Comprende el

quinquenio 1931-35, que se caracteriza por su inestabilidad política y económica, agitaciones sociales, abundantes huelgas y retraimiento del capital. La producción eléctrica, que en 1931 fué de 2.682.000.000 Kwh. (potencia instalada, 1.465.000 KVA.), alcanzó en 1935 la de 3.271.600.000 Kwh. (potencia instalada, 1.885.000 KVA.), con lo cual el aumento vegetativo alcanzado en este período fué sólo de 5,1 % anual.

Tercer período.—GUERRA CIVIL.—Abarca desde 1936 hasta principios de 1939 y corresponde al tiempo que duró nuestra contienda, durante la cual la producción eléctrica sufrió una profunda crisis, registrándose un mínimo de 2.472.100.000 Kwh. en 1937.

Cuarto período.—RECONSTRUCCIÓN.—Comprende desde 1939, en que terminó la guerra y se inicia la recuperación nacional, que tiende a la normalización de las actividades industriales del país, y que acaba en 1943, a partir del cual se inicia las restricciones. La producción de 3.111.100.00 Kwh. en 1939 (potencia instalada, 1.991.000 KVA.) se eleva rápidamente, alcanzando en 1943 el valor de 4.775.500.000 Kwh. (potencia instalada, 2.120.000 KVA.), con lo cual el aumento vegetativo resulta superior al 7,4 %, promedio del decenio 1926-35.

Quinto período.—RESTRICCIONES.—Arranca desde 1944, en que la sequía obliga a establecer restricciones generales, que con mayor o menor intensidad persisten hasta el presente. Dicho período viene a truncar la era de reconstrucción, y se considera que en 1949 la demanda hubiera alcanzado 7.100.000.000 Kwh. Las producciones durante este período fueron de:

Años	Potencia instalada en KVA.	Producción en Kwh.
1944	2.056.000	4.719.500.000
1945	2.123.000	4.236.100.000
1946	2.195.000	5.466.600.000
1947	2.378.000	6.005.400.000
1948	2.507.000	6.318.000.000
1949	2.829.000	5.488.000.000

siendo el año 1945 el de menor producción de este período y presentándose en 1949 una sequía sin precedentes, pues del total de 5.488.000.000 Kwh. producido, sólo 3.766.000.000 Kwh. lo fueron hidráulica-mente, mientras que en 1948 dicha energía hidráulica alcanzó 5.226.000.00 Kwh., en cifras redondas. El afo-

ro de los ríos, que en 1945 llevaron el 50 % de su caudal acostumbrado, en 1949 llegó sólo al 37 %.

Se estima, con criterio prudente, que la demanda normal del mercado eléctrico hubiese sido del orden de 7.100 millones de Kwh., con lo cual han faltado en el mercado más de 1.600 millones de Kwh., y se calcula que el déficit real ha sido de unos 400 millones de Kwh., pues el resto lo han producido los industriales por medios propios. Suponiendo a razón de 4 ptas. por Kwh. el perjuicio ocasionado a la economía nacional por las restricciones, hacen un total de 1.600 millones de pesetas de pérdidas en 1949.

Los perjuicios ocasionados por la sequía durante los seis años últimos han sido enormes, y como la mayoría de las instalaciones particulares son de escaso rendimiento y anticuadas, han consumido en malas condiciones combustibles sólidos y líquidos que hubieran podido ser utilizados para otros menesteres, con mayor eficiencia.

2) ORIENTACIONES ANTE NUESTRO DÉFICIT ENERGÉTICO

a) GENERALIDADES.

Toda nación animada de un espíritu verdaderamente moderno, orienta su política energética a fin de sacar el mejor partido, en interés general de la colectividad, de los recursos naturales de su país, para procurar el bienestar de sus conciudadanos y satisfacer sus necesidades en la mejor forma posible, con lo cual dicha política adquiere carácter indefectiblemente social y humano.

El potencial energético de un país, que es el manantial de su poderío y la llave de su independencia, carece de valor si no se ponen a contribución todos los medios necesarios para mejorar, sin cesar, el rendimiento de utilización de las calorías disponibles. De todo lo cual se infiere que *ante el déficit de energía que sufrimos, deberemos recurrir a la política que, sin merma alguna para la iniciativa privada, obligue a la utilización racional de nuestras propias fuentes de energía.*

Si consideramos que, desgraciadamente por ahora, en nuestro suelo no disponemos de petróleo y, por lo tanto, debemos importarlo; que tampoco disponemos

de gas natural (EE. UU. consumió 96.697 millones de m³ de dicho gas en 1943), ni contamos con turberas que revistan importancia y utilidad, y siendo limitada la capacidad de nuestros bosques, en leña, deberemos dirigir nuestras miradas a las dos fuentes restantes: *el carbón y la energía hidráulica*.

Nuestra política deberá, pues, orientarse, concretamente, *a fomentar el aumento de la producción de carbón, sacar el máximo provecho del mismo como materia prima, reducir al mínimo necesario las importaciones de combustibles líquidos, e impulsar la construcción de centrales hidráulicas* que aprovechan la energía que tan abundantemente nos brinda la Naturaleza.

b) AUMENTO DE LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN.

Por todos los medios debe fomentarse el aumento de producción de carbón para hacer frente a nuestras necesidades, cada vez más crecientes. Si todo aumento de producción no lleva aparejada una invariabilidad en la buena calidad del carbón extraído, los resultados que se alcancen serán ficticios, ocasionarán una pura pérdida para la economía del país y su utilización producirá, en general, efectos totalmente contraproducentes.

Para que las estadísticas de carbón reflejaran la verdadera producción, debería compararse con la correspondiente a la de 1935, por ejemplo, en igualdad de composición y características. Sólo así, sabremos si el aumento comprobado en el tonelaje extraído es realmente un aumento de las disponibilidades de carbón.

La extracción del carbón de nuestras minas presenta, en general, mayores dificultades y resulta más costosa que en otros países, principalmente: por la menor potencia útil de sus capas; existir zonas estériles más abundantes alternadas y de mayor espesor relativo; terrenos carboníferos trastornados y capas más verticales; y, sobre todo, su explotación da una mayor proporción de menudos producidos (65 %) respecto a las granzas, galletas y cribados (35 %). Siendo estas dificultades inherentes a nuestras cuencas mineras, no podemos modificarlas, y sólo queda la tarea de aminorar los efectos perniciosos que acarrear.

Nuestra preocupación para aumentar la producción de carbones está plenamente justificada, pero el es-

tudio de la forma de lograrlo sale de los límites del presente trabajo.

Si por las circunstancias que fuesen, nos vemos precisados a importar carbón del extranjero, éste debería ir destinado a aquellas industrias que lo utilizaran con la mayor eficiencia posible, para que el dispendio de divisas correspondientes quedara compensado con los resultados logrados, y en este caso, nadie mejor que dedicarlo a aquellas industrias que, en vez de consumirlo quemándolo, lo transforman obteniendo toda una gama de productos y subproductos de inestimable valor que revalorizan las cualidades intrínsecas del carbón primitivo.

Aparte las medidas que con acierto se dicten, y que no vamos a analizar, para el logro de una mayor producción de carbones, no debe olvidarse la que atañe a los precios de venta de los mismos, pues si éstos no son remuneradores, faltará el estímulo necesario e imposibilitará las ampliaciones, modificaciones y modernizaciones de los elementos de producción existentes y de las nuevas instalaciones que permitan mejorar notablemente los rendimientos actuales. De la misma manera, deben resultar remuneradores los precios de todos los elementos básicos y derivados necesarios para cubrir las necesidades de nuestro país, por las razones expuestas, y no debemos perder de vista que, prácticamente, toda nuestra economía gira, directa o indirectamente, alrededor del carbón.

c) EL CARBÓN COMO MATERIA PRIMA.

En la Conferencia Mundial de la Energía, celebrada del 2 al 9 de septiembre de 1947, se fijaron los dos principios básicos que debe presidir la utilización racional del carbón, a saber:

1.º Dar preferencia a las industrias de carbonización que transforman la hulla, lignitos y esquistos o pizarras bituminosas en nuevos combustibles de más apreciado valor y que dan en ciertos casos —aprovechando éstos íntegramente— mayor efecto útil que el combustible primitivo de que proceden; y

2.º Aplicar todos los progresos técnicos, que sean económicamente aconsejables, para aprovechar al máximo posible las calorías de la combustión, creando las condiciones favorables en que ha de tener lugar en los hogares, disminuyendo las pérdidas en su utilización, y, finalmente, recuperando los calores perdidos

en los procesos térmicos y en los humos evacuados por las chimeneas.

En este trabajo vamos a ceñirnos al estudio concreto del primer caso, o sea «la carbonización», pues plumas más autorizadas tratan en este Congreso del tema general «aprovechamiento racional del carbón», para evitar el actual derroche y despilfarro en infinidad de casos. Séame permitido indicar solamente la necesidad de disponer, en cada caso, del combustible adecuado y de los elementos de utilización más apropiados.

La importancia y sugestión del tema de la carbonización lleva aparejada el de la gasificación del carbón, y ha despertado tal interés en todos los países, que en la IV Conferencia Mundial de la Energía, que se celebrará en Londres del 9 al 16 de julio próximo, ocupan un lugar destacadísimo entre los temas que se han de tratar, los siguientes: gasificación subterránea del carbón, aumento de la producción en los hornos de coque, métodos de comprobación térmica de la producción de coque, combustibles derivados del alquitrán, recuperación del benzol en los hornos de carbonización, aprovechamiento de pizarras bituminosas, etc., etc.

La utilización cada vez más creciente del carbón, no como combustible, sino como materia prima, que da origen mediante su carbonización a un sinnúmero de productos y subproductos, abre anchos horizontes a la industria química orgánica pesada, de insospechado porvenir y utilidad.

Carbonización.

Con este nombre queremos denominar, más correctamente, a la operación llamada impropriamente «destilación» (pues ningún cuerpo de los obtenidos existía previamente en el carbón crudo) —y cuyo verdadero nombre debiera ser «pirogenación»—, y que tiene por objeto el calentamiento del carbón en vaso cerrado por medio del cual se obtienen una serie de productos sólidos, líquidos y gaseosos de inestimable valor y que a su vez sirven de materias primas a un sin fin de industrias de vital importancia para la nación.

La carbonización restituye a la economía del país la mayor parte del carbón que se le destina, bajo una forma más noble que el carbón de que proceden; esta

ventaja, unida a la que proporciona el ulterior tratamiento de los subproductos obtenidos, constituye el mejor medio para aprovechar y revalorizar el carbón.

Los principales productos obtenidos por la carbonización y semicarbonización (denominada destilación a baja temperatura) del carbón, son los siguientes:

Combustibles sólidos: Coque metalúrgico, coque y semicoque de gas industrial y doméstico, antracitas artificiales, semicoque de briquetas de lignito, breas, etcétera.

Combustibles gaseosos: Gases para usos domésticos e industriales.

Combustibles líquidos y otros cuerpos: Alquitrán, proto-alquitran, alquitrán «fillerizado» para carreteras, breas, parafina, antraceno, naftalina, aceites pesados, medios y ligeros, «solvent-nafta», benzol, toluol, xiloles, esencias, fenoles, aguas amoniacales concentradas, álcali volátil, amoníaco líquido, sulfato y cloruro amónico, azufre, azul de Prusia, etc., etc.

Con los progresos de la nueva técnica en la química del carbono, se ha enriquecido el número de productos derivados de la carbonización, que convierten a dicha industria en básica y fundamental de toda actividad económica de un país. Los principales son los siguientes:

Productos derivados del carbón directamente.—Preparación de gases de síntesis por carbonización y gasificación de la hulla y lignitos (Hornos Didier, Pintsch-Hillebrand, Schmalfeldt, Demag, Koppers).

Productos derivados del gas (por condensación y destilación fraccionada).—Hidrógeno (para los procesos de hidrogenación, fabricación sintética del NH_3 y sus derivados: ácido nítrico, nitratos, sulfato amónico, urea, etc.). Metano (fabricación del metanol y demás derivados: formol, exametilen, resinas sintéticas de los grupos formol-fenol y formol-urea). Etileno (con sus derivados: etanol, éter etílico, oxi-etileno, glicol, etanol-aminas, éteres del glicol, acetonas, resinas metaacrílicas).

Productos derivados del alquitrán.—Lubricantes de alta calidad por hidrogenación del alquitrán de carbonización a alta temperatura.

Carburantes, lubricantes y cuerpos grasos por hidrogenación de alquitranes primarios de hulla y lignito carbonizados a baja temperatura.

Productos derivados del coque y semicoque.—Gases

para síntesis Fischer por gasificación de coque, carbonilla y semicoque pulverulento en gasógenos a presión Winckler, etc.

Síntesis del caucho por vía acetilénica, materias artificiales de polimerización.

Productos derivados del azufre del gas.—Fabricación del anhídrido sulfuroso líquido, sulfuro sódico cristalizado, ácido sulfúrico, azufre puro coloidal, etcétera, etc.

Aplicaciones del gas a presión.—Gas carburante para tracción en motores de explosión y combustión.

Gas comprimido en botellas para usos domésticos.

Gas a presión para el transporte a grandes distancias mediante tuberías.

La elección no es, pues, dudosa en favor de la carbonización del carbón, que nos proporciona los elementos básicos para nuestra defensa y economía nacionales.

Rendimiento térmico de la carbonización.

La industria de la carbonización —que lejos de consumir carbón, lo transforma— constituye, indiscutiblemente, el proceso de mayor rendimiento térmico alcanzado. En efecto, de la carbonización de 1 Kg. de hulla (7.000 calorías) se obtienen:

Coque	600 gramos.	3.840 calorías.
Gas	465 litros.	1.980 »
Carbonilla	100 gramos.	575 »
Alquitrán	45 »	400 »
Benzol	9 »	81 »
Azufre	1,6 »	4 »
		6.880 calorías.

que representa un *rendimiento teórico* de 98,3 por 100; pero teniendo en cuenta el consumo de calor para calefacción de los hornos, deberemos deducir:

Coque	180 gramos.	1.150 calorías.
Quedando		5.730 calorías.

con lo cual, EL RENDIMIENTO PRÁCTICO DE LA CARBONIZACIÓN es de:

$$\frac{5.730}{7.000} \times 100 = 82 \%$$

De manera que *la industria de la carbonización, de cada 100 calorías que se le suministran, devuelve 82 calorías* en forma de otros combustibles que por sus características y condiciones tecnológicas permiten obtener, con su ulterior aplicación, una mayor eficien-

cia térmica que no se alcanzaría utilizando el carbón crudo del que proceden.

Si en lugar de utilizar la hulla para la carbonización deseamos obtener energía eléctrica, el rendimiento térmico que se alcanza es de:

$$\frac{864 \times 100}{1.26 \times 7.000} = 9,81 \%$$

teniendo en cuenta que el consumo específico de carbón en 1948, de acuerdo con los datos de las estadísticas oficiales, fué de 1,26 Kg. por Kwh. (promedio de todas las centrales térmicas). En las instalaciones más modernas existentes en España el rendimiento que alcanzan es del 24 % (3.579 calorías por Kwh.), y en las potentes y modernísimas instalaciones de New-York (central Walside), Chicago (central Fisk) y de Pittsburg (central F. R. Phillips) los rendimientos respectivos son de 26,4 % (3.275 calorías), 28,6 % (3.025 calorías) y 29 % (2.975 calorías).

En la instalación de Gouth Meadow, modernizada en 1949 con generador de vapor de mercurio, calentada con petróleo, el consumo en calorías ha sido de 2.434 por Kwh., y el rendimiento térmico alcanzado el de 35,5 %.

Si se utiliza el carbón para la producción de energía mecánica, el rendimiento que se alcanza oscila entre el 3 % (ferrocarriles) y el 10 %, el aprovechamiento térmico en hornos industriales oscila del 10 al 20 %, y correspondiente a máquinas y turbinas con condensación, varía del 15 al 20 %.

¡No en vano, el vapor es una de las formas menos noble de la energía!

La elección en favor de la carbonización no es, pues, dudosa, proporcionándonos: *gas*, para usos domésticos e industriales; *coque*, para aplicaciones domésticas e industriales, y que gasificándolo constituye la fuente más barata de producción industrial del hidrógeno y sirve en la síntesis de Fischer para la obtención de carburantes sintéticos; *abonos nitrogenados*, que tanto necesitan nuestros campos; *grafito*; *alquitranes*, para carreteras, industrias de colorantes y productos farmacéuticos; *brea*, para la fabricación de aglomerados; *azufre*, que tanta falta hace a la industria de la fabricación del sulfuro de carbono, y, por último, *benzol y derivados*, que tanta importancia tienen para nuestra economía y defensa. ¡De ahí la preferencia

que gozan estas industrias en todos los países, aun en detrimento de las demás actividades!

Eficiencia de la carbonización.

La industria de la carbonización ha llegado a un perfecto grado de madurez y eficiencia. Hará menos de veinte años que en las coquerías-siderúrgicas se perdía el 20-25 % del gas que se producía, por no hallarle la debida aplicación. Ahora, las factorías de Cockerill aprovechan el 99 % del gas de los hornos de coque y el 93 % del de hornos altos.

Otro ejemplo: La Normemby Park Works (Yorkshire) aprovecha las disponibilidades de calor en su totalidad. Es un modelo de coordinación de servicios que citamos por su interés.

Las calorías-gas resultantes, por un lado, de la producción de una tonelada de coque metalúrgico en los hornos de coque, a partir de una hulla de Yorkshire con un 35 % de materias volátiles, y, por otro lado, del empleo de esta tonelada en los hornos altos, se reparten como sigue:

Producción de calorías-gas por tonelada de coque producido y consumido.

Gas de hornos de coque.	476 m ³ a 4.780 cal.	2.275.280 cal.
» » » altos	4.200 » a 978 »	4.107.600 »
TOTAL		6.382.880 cal.

Repartición del consumo de calorías-gas:

Hornos de coque	16,2 %
Cowpers	11,0 »
Soplantes	8,0 »
Acerería	32,4 »
Hornos Pits	10,4 »
Motores a gas	1,5 »
Calderas	19,3 »
Varios	1,2 »
TOTAL	100,0 %

Centros de producción de vapor:

Calderas calentadas por gas	66,7 %
» a llamas perdidas	33,3 »
TOTAL	100,0 %

Repartición del consumo de vapor:

Laminadores	65,4 %
Hornos de coque	9,8 »
Soplantes	13,1 »
Hornos altos	3,2 »
Varios	8,5 »
TOTAL	100,0 %

Repartición del consumo de energía eléctrica:

Hornos de coque	14,7 %
Hornos altos	6,2 »
Acerería	13,5 »
Laminadores	11,2 »
Bombas y lavado de gas	31,3 »
Depuración del gas y central	3,3 »
Alumbrado	8,0 »
Trituración del mineral y varios	11,8 »
TOTAL	100,0 %

Consumo de carbón y productos obtenidos:

	Por semana en tns.
Carbón carbonizado	7.920
Coque metalúrgico producido... ..	5.272
Carbonilla producida	302
Producción:	
Fundición	3.885
Acero	5.370
Laminados	5.260

que corresponde a un consumo específico de:

$$7.920 \times 1.000$$

$$\frac{\quad}{5.260} = 1.506 \text{ Kgs. de carbón por ton. de}$$

laminados, que corresponde a la mitad de lo que consumía en 1920.

Vimos que, en 1947, nuestro consumo específico de carbón era de 4.060 Kg. por ton. de laminados. Además, nuestra industria siderúrgica es deficitaria en energía eléctrica, mientras la Normemby Park Works cubre integralmente sus necesidades y quedan además disponibles para la venta, cada semana, 302 tons. de carbonilla, 356 tons. de alquitrán, 47.520 Kgs. de sulfato amónico y 71.800 Kgs. de benzol. Esperaba además esta factoría reducir el consumo específico, antes indicado, en un 10 % dentro de breves años.

¡El resultado obtenido no puede ser más halagüeño y esperanzador!

A continuación citamos dos ejemplos, entre los múltiples que podríamos enumerar, de la eficiencia que nos podría proporcionar la industria de la carbonización de la hulla.

Durante el año 1948 en España se consumieron 172.866 tons. de hulla para usos domésticos.

A consecuencia de que los rendimientos prácticos de utilización de los aparatos de gas son muy superiores a los de carbón, 1 Kg. de carbón puede ser reemplazado por 265 litros de gas, y en este supuesto las necesidades domésticas de dichos usuarios hubieran podido quedar cubiertas por 45.600.000 m³ de gas, para la producción de los cuales habrían basta-

do unas 98.000 toneladas de hulla, con lo cual se hubiera conseguido un ahorro de

$$172.866 - 98.000 = 74.866 \text{ toneladas al año}$$

y hubieran además quedado libres para la venta:

41.000	tons. de coque.
9.800	» » carbonilla.
4.400	» » alquitrán.
490	» » sulfato amónico.
880	» » benzol.

Otro ejemplo: La falta de gas por un lado y la escasez de combustibles sólidos por otro, han obligado a los consumidores a utilizar cada vez más la energía eléctrica para calefacción. La producción eléctrica en España durante el año 1948 fué de:

Centrales hidráulicas	...	...	5.226.361.726 Kwh.
» térmicas	...	...	938.975.090 »
TOTAL			6.165.336.816 Kwh.

y si consideramos que para fines de calefacción se consumió un 4,5 % de este total, representarán unos 278.000.000 Kwh.

Si, ante la sequía que venimos padeciendo, estos Kwh. han debido ser producidos térmicamente, se habrán necesitado unas 350.000 toneladas de hulla. Como quiera que los 278.000.000 Kwh. hubieran podido ser reemplazados por 79.500.000 m³ de gas (adoptando una equivalencia práctica de 1 m³ por 3,5 Kwh., a pesar de que la relación teórica es de 1:5), sólo hubiesen hecho falta 171.000 toneladas de hulla, es decir, menos de la mitad de las consumidas en la central térmica, y además habrían quedado libres para la venta los subproductos cuya enumeración y porcentajes obtenidos hemos indicado anteriormente.

¡Ambos ejemplos no precisan comentarios; hablan por sí solos!

d) REDUCCIÓN DE LAS IMPORTACIONES DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS.

Ante la escasez de divisas es preciso reducir al mínimo el consumo de combustibles líquidos de importación, derivados del petróleo bruto, del que carecemos por ahora en nuestro suelo patrio.

El consumo mundial de productos petrolíferos es del orden de 3.100 millones de barriles al año, y las noticias y opiniones sobre un pronto agotamiento de

los yacimientos son contradictorias, pues mientras unos fijan fechas relativamente próximas, otros estiman las reservas mundiales como muy importantes y alegan que los yacimientos actuales sólo han llegado a producir la décima parte del potencial mundial y sólo otra décima ha sido comprobada. Se afirma que «*en todas partes, y a más o menos profundidad, se puede extraer petróleo*». Sea ello lo que fuese, precisa evitar el despilfarro, y países eminentemente productores de petróleo, como los Estados Unidos, ponen también sus miradas en los combustibles de reemplazo derivados del gas natural, de los esquistos bituminosos y del carbón, de todos los cuales cuentan con abundantes reservas.

El problema de los combustibles líquidos y especialmente el de los carburantes, ha sido constante preocupación de todos los Gobiernos. La orientación de su política en este aspecto ha sido muy diferente, pues mientras Francia ha creado sus factorías propias para destilar y refinar el petróleo bruto importado, España se ha limitado a importar los productos derivados que le hacían falta, y Alemania, completamente aislada, ha orientado y resuelto magníficamente su problema mediante los carburantes sintéticos que ha obtenido del carbón.

A este respecto es de recordar que ya en 1937 la Comisión Falmouth, encargada de redactar el «Informe del Comité de Defensa Imperial Británica», recomendó:

1.º La búsqueda de petróleo natural y destilación de los esquistos bituminosos escoceses.

2.º Carbonización de la hulla en las fábricas de gas y para la obtención del coque metalúrgico. Semi-carbonización de la hulla; y

3.º Fabricación sintética de carburantes por hidrogenación o por reducción catalítica del CO por H₂ (procedimiento Fischer y sus derivados).

Análogas recomendaciones comprendía el informe de Sir David Rivett en el Parlamento australiano y en el informe del «The Labour Party» en julio de 1937, redactado por M. R. N. Hall, que venía a completar las recomendaciones señaladas y establecía un programa de realizaciones que abarcaba:

1.º Una fábrica de hidrogenación, de un coste de £ 5.000.000 para tratar 600.000 tons. de hulla al año y obtener, entre otros productos, 146.250 tons. de

esencia. Empleaba 2.000 obreros y daba trabajo a 2.000 mineros.

2.º Seis fábricas de Sinteris Fischer, de un coste total de £ 11.400.000, que tratan, en conjunto 1.100.000 toneladas de hulla al año para obtener, entre otros productos, 165.750 tons. de esencia. Ocuparían a 1.500 obreros y a 3.700 mineros; y

3.º Cinco fábricas de carbonización a baja temperatura (semi-carbonización), de un coste de libras 1.250.000 para tratar 950.000 tons. de hulla anuales y obtener, entre otros, 13.000 tons. de esencia, 740.000 toneladas de combustible sin humo y 57.000 tons. de alquitrán primario (proto-alquitrán), que podría ser tratado a continuación en la fábrica de hidrogenación. Ocupaban a 1.250 obreros y 3.500 mineros.

La industria de la carbonización ha llegado, hoy día, a un grado tal de madurez y perfección, que ha permitido a muchos países pobres en combustibles líquidos independizarse en materia de carburantes; un ejemplo: Alemania, completamente bloqueada y desprovista de yacimientos naturales de petróleo, ha debido alimentar durante la guerra a sus divisiones acorazadas y a las incesantes demandas de super-carburantes y super-lubricantes para sus fuerzas aéreas.

Otra fuente importante de combustibles líquidos la ofrecen nuestros lignitos y esquistos, por lo que se debe emprender decidida política de semi-carbonización para revalorizarlos y lograr una mayor eficiencia industrial en vistas a la obtención de productos carburantes y buenos combustibles sólidos para quemar o gasificar. Los lignitos españoles podrían proporcionar de este modo, por cada 1.000 toneladas:

200.000 m ³	de gas.
500.000 Kgs.	de semi-coque.
10.000 l.	de tolueno.
10.000 »	de xileno.
50.000 »	de esencia de 0º - 200º.
30.700 »	de esencia de «cracking».
67.300 Kgs.	aceites pesados.
33.700 »	alquitrán de marina.
60.000 »	de azufre.

Del mismo modo, carbonizando la madera en vez de quemarla, se obtendrían: gas de leña, alquitrán de madera, acético, acetona, metileno, carbón vegetal o mejor aún la «carbonita», combustible ideal para los gasógenos de coches y camiones, pues un vehículo que consuma 53 Kgs. de carbón vegetal por 100 Kms., sólo gasta 33,6 Kgs. de «carbonita», ocupando además mucho menos espacio para su alma-

cenamiento, por su mayor densidad aparente. Además, de una tonelada de leña se obtienen 162 Kgs. de carbón vegetal, trabajando en retortas, mientras que la misma cantidad de leña puede producir 252 Kgs. de «carbonita».

Por carbonización de las traviesas creosotadas que llevan veinticinco o treinta años de servicio, se obtiene un carbón muy duro, de una potencia calorífica del orden de 8.000 cal., con un porcentaje de 92-93 % de carbono. Este carbón vegetal, que es un excelente combustible, se obtiene por carbonización a alta temperatura para efectuar el «cracking» de la creosota. De este modo cuatro toneladas de traviesas viejas dan una tonelada de dicho carbón vegetal, que equivale aproximadamente a 10 Hl. de esencia, o sean 750 Kgs.

Utilizaremos mejor la leña carbonizándola en los mismos bosques (carbonización forestal), aprovechando los subproductos obtenidos y cuyo transporte resultará más cómodo y económico, que no cargándola verde y húmeda para mal quemarla después. Del mismo modo debe impulsarse la carbonización industrial de la madera y otras sustancias celulósicas, por la serie de derivados de gran utilidad que se obtienen.

No debemos olvidar, además, que el gas del alumbrado, obtenido por la carbonización de la hulla a alta temperatura, es un magnífico carburante y que se utiliza en camiones y gasobuses mediante su compresión a 350 Kgs./cm² y permite reemplazar 1 litro de bencina por 1,75 m³, reduciendo además el consumo de aceite lubricante.

Por la fuente inagotable de materias primas que proporcionan las industrias de la carbonización (coquerías, fábricas de gas, semi-carbonización de lignitos y esquistos, destilación de materias celulósicas, etcétera), y que por su elevado rendimiento térmico de transformación constituyen un modelo de utilización del carbón, toda «política del combustible» ha de tener como norma impulsar el desarrollo de dichas industrias para el bien común de la Nación, considerándolas como básicas y fundamentales, pues de ellas viven, en concatenación, sinnúmero de otras industrias vitales e importantes. En muchos países la carbonización de la hulla es obligatoria.

Aquellas industrias que alguien osó calificar, alguna de ellas, con menos acierto que mala intención, de suntuarias, cumplen además una misión social al pro-

porcionar a las clases menos dotadas combustibles seguros, rápidos, dóciles, limpios, eficientes y asequibles.

Por ser imposible evitar las importaciones de combustibles líquidos, deberían tener preferencia en su empleo aquellas industrias que lo utilizan para hacer frente a ciertas horas de punta («boosting» de petróleo) o aquellas que «crackinizándolo» lo aprovechan

integralmente. A este respecto cabe indicar el «gas-oil» que «crackiniza» para carburar el gas de agua azul, por ejemplo, con objeto de aumentar su poder calorífico. Con 100 litros de «gas-oil» pueden carburarse 300 m³ de gas de agua elevando su poder calorífico de 2.700 cal./m³ a 4.500 cal. y obteniendo además 12 Kgs. de alquitrán especial, y cuya composición especial ponderal es la siguiente:

Destilación fraccionada:

Aceites ligeros,	0°-170°	...	...	...	...	2,5 %	agua.
» medios,	170°-230°	...	...	...	...	2,6 %	benzol, toluol, etc.
» pesados,	230°-270°	...	...	...	...	25,4 %	fenoles y casi totalidad naftalina.
» antracénicos,	270°-340°	...	...	...	...	9,7 %	naftalina y ácidos fenólicos.
Residuo	...	...	...	...	...	29,8 %	antraceno, pireno, criseno.
Pérdidas destilación	...	...	...	...	...	29,0 %	brea.
						1,0 %	

Por esta especial composición dichos alquitranes son muy estimables.

Deberán contar, asimismo, con la máxima protección las industrias que, destilando y refinando petróleo, obtengan todas las series de derivados, carburantes y lubricantes de alta calidad que la nueva técnica industrial requiere cada día con mayor afán.

Vemos, pues, en resumen, que EL CARBÓN SERÁ CADA VEZ MENOS UN COMBUSTIBLE, PARA SER CADA VEZ MÁS UNA MATERIA PRIMA de inagotable valor y de horizontes insospechados.

e) NECESIDAD DE INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN HIDRO-ELÉCTRICA.

La energía hidráulica constituye una riqueza natural que se nos brinda con prodigalidad y es nuestro deber aprovechar, en su grado máximo, incrementando la construcción de centrales para la producción de energía eléctrica al mejor precio, construyendo embalses reguladores para que, además de almacenar energía, eviten, en lo posible, los daños causados por las grandes avenidas e inundaciones, y estableciendo canales que constituyan un sistema racional de riego para nuestros campos.

Es una fuente de energía poco explotada aún y que actualmente cubre el 0,6 % de las necesidades energéticas mundiales, expresadas en calorías.

Este porcentaje es muy variable según los países: en España cubre el 4,7 % y en Francia llega al 15,5 % sobre un consumo de energía de 625 billones

de calorías anuales. Actualmente el 55 % de la energía eléctrica consumida en la vecina República es producida hidráulicamente.

En Alemania, que desde los años 1875 a 1937 su consumo energético ha pasado de 319 a 1.561 billones de calorías anuales, ha cubierto sus necesidades en la forma siguiente:

Años	Hulla	Lignito	Petróleo	Energía hidráulica	Leña
	%	%	%	%	%
1875	83,6	7,1	—	—	9,3
1900	86,8	9,8	0,1	—	3,3
1925	72,7	23,4	0,1	1,4	2,4
1937	73,1	22,3	0,2	2,7	1,7

Lo cual demuestra la importancia que ha alcanzado la hulla, la lograda por los lignitos, la reducción de la aportación de leña al conjunto y la escasa participación del petróleo y energía hidráulica. Ello es debido a que en Alemania hay pocos saltos de agua, y el Reich, falto de divisas para las importaciones petrolíferas, ha sacado un maravilloso provecho de sus abundantes lignitos de Sajonia y Renania y de la fabricación de excelentes briquetas por auto-aglomeración.

La potencia hidro-eléctrica instalada en España ha ido en aumento, como se detalla a continuación:

Años	Potencia en K.V.A.	Aumento en % respecto 1925
1925	568.000	—
1930	980.000	55,0
1935	1.399.000	146,2
1940	1.541.000	171,0
1945	1.638.000	188,0
1948	1.948.000	242,4

Durante el año 1949 se han instalado las nuevas centrales hidráulicas de: Las Conchas, Villalcampo, Barasona y Herrerías, con una potencia total de 167.500 KVA.

A pesar de que el ritmo de construcción de nuevas centrales es, en estos últimos años, creciente, se ve frenado por las dificultades con que se tropieza para adquirir los materiales necesarios para su construcción, para la obtención de los oportunos permisos de importación de la maquinaria conveniente y por la situación de inferioridad en que se encuentra la empresa privada.

Por todos los medios deben vencerse estas dificultades y desvanecerse estos recelos, ya que al utilizar cada día más la fuente natural de energía hidráulica, redundará en bien de nuestra economía y permitirá liberar grandes cantidades de carbón que deberán ir destinadas, con preferencia, a aquellas industrias que alcancen el mayor grado de eficiencia industrial en su utilización o transformación.

Impulsando la electrificación rural ahorraremos combustibles líquidos de importación y evitaremos que nuestros bosques queden esquilados.

Acelerando la electrificación de ferrocarriles, lograremos un servicio de transporte más rápido, cómodo y limpio, y que ha de proporcionar a la Nación una gran mejora económica.

El plan (P. González Bueno) de electrificación de los ferrocarriles de la Red Nacional, abarca 4.211 Kms. de vía férrea, con un tráfico de 9.499 millones de toneladas-kilométricas brutas remolcadas (Tn. Km. B.), y que a base de un consumo medio específico aproximado de 107 gramos de carbón por Tn. Km. B. (actualmente es del orden de unos 120 gramos) permitirá liberar, como mínimo:

$$9.499 \times 10^6 \times 107 \times 10^{-6} = 1.011.970 \text{ Tons. de hulla.}$$

que representa, en cifras redondas, 1/3 del consumo anual de los ferrocarriles.

El consumo de energía eléctrica, para dicha electrificación, teniendo en cuenta el consumo específico de 57,9 wh. por Tn. Km. B. será de:

$$9.499 \times 10^6 \times 57,9 \times 10^{-3} = 548.680.000 \text{ Kwh.}$$

Vemos, pues, la enorme ventaja que representa para la reducción de nuestro déficit energético actual, al plan de electrificación aprobado, y es de desear que

pronto sea realidad para conseguir liberar más de un millón de toneladas anuales de hulla y ser entregados a otras industrias que lo utilizaran mejor.

Esta ventaja subsiste, aun en el caso de que por falta de energía hidráulica debiera producirse térmicamente. En efecto, para producir los Kwh. indicados harían falta unas

$$548 \times 10^6 \times 800 \times 10^{-6} = 438.945 \text{ Tons. de hulla}$$

(considerando, con criterio moderado, 800 gramos de carbón por Kwh.) y aún obtendríamos, en este caso, un ahorro de

$$1.011.970 - 438.945 = 573.025 \text{ Tons. de hulla.}$$

Con dichos ahorros de carbón quedarían mejoradas las condiciones actuales con que se desenvuelven la mayor parte de las industrias, especialmente las de carbonización, y, particularmente, las fábricas de gas, que han sido las únicas que han sufrido injustamente una reducción en sus disponibilidades de carbón.

Como están completamente delimitados los campos de acción de la electricidad y del gas, pues la primera tiene sus ventajas, ciertamente, para la producción de fuerza motriz y alumbrado doméstico, y las cualidades del gas toman todo su valor en las aplicaciones térmicas y alumbrado público, y no parece que, desde el punto de vista nacional, sea interesante favorecer soluciones que tiendan a vender la energía eléctrica a precios inferiores al de coste, debería ser iniciativa de los Organismos Superiores limitar el empleo de ésta (salvo casos muy especiales) para calefacción, dedicándola a otros usos más adecuados y urgentes, pues nuestro país está muy lejos de haber alcanzado la saturación eléctrica.

3) CONCLUSIONES

Ante el déficit de nuestro balance energético, examinadas las principales causas, y tras de considerar que la *carbonización de la hulla, lignitos, esquistos, etc., constituye uno de los medios más eficaces para remediar, en lo posible, los efectos de esta penuria actual y, ante todo, lo anteriormente expuesto para la reducción de aquel déficit, nuestra «política energética» debería apoyarse, entre otras, en las siguientes orientaciones:*

1.^a *Fomentar, por cuantos medios estén a su alcance, el aumento de la producción de carbón, tomando como premisa la invariabilidad de su buena calidad, pues los aumentos registrados en las estadísticas son en parte ficticios, por haber aumentado la humedad y cenizas del carbón extraído. Con ello se ocasiona un perjuicio a la economía del país, que ha debido comprar materias estériles a precio de carbón y ha tenido que transportarlas inútilmente, y con la utilización de este carbón no se ha logrado mejorar ningún rendimiento térmico, sino todo lo contrario.*

2.^a *Ante la eventualidad de una importación de carbón deberá procurarse que su calidad sea inmejorable y que se destine a una industria que lo transforme o utilice en el máximo rendimiento térmico industrial posible, para sacar el máximo provecho que compense el gasto de divisas efectuado.*

3.^a *Utilizar el carbón apropiado para cada uso, con objeto de evitar su despilfarro, procurando reducir el consumo de carbón mediante su utilización racional y de acuerdo con los progresos que la técnica realiza cada día, fruto de los adelantos científicos, para que cese el derroche actual de carbón.*

Cuando no se disponga de la calidad apropiada, recurrir a las instalaciones de mezcla de carbones, que tan buenos resultados están dando en el extranjero y que actualmente se hacen ya imprescindibles en las coquerías.

4.^a *Los precios de venta de los elementos básicos y derivados de nuestras fuentes energéticas deberán ser remuneradores, para estimular y hacer posibles las ampliaciones y modernizaciones de las instalaciones existentes y la creación de nuevas plantas más eficientes.*

5.^a *Por ser el petróleo y sus derivados productos especiales, pero de importación, deberá limitarse su empleo al estrictamente necesario para evitar un dispendio innecesario de divisas. Deberá recurrirse a los combustibles de reemplazo y a los carburantes sintéticos obtenidos con materias y medios propios.*

6.^a *Dentro de la restricción anterior, deberán te-*

ner preferencia, en cuanto a suministro y precio, en primer lugar, las industrias que utilicen el petróleo o sus derivados, para destilarlos o «crackinizarlos», en lugar de quemarlos, y en segundo lugar, aquéllas que sólo lo utilizan como ayuda («boosting») en las horas de máximo consumo o demanda.

7.^a *Fomentar, en gran escala, el desarrollo de las industrias de la carbonización, por las ventajas que reportan a la economía y defensa del país, y las de obtención de carburantes sintéticos para permitir la reducción de las cantidades invertidas en la importación de combustibles líquidos.*

8.^a *Reducir el consumo de leña para quemar al mínimo, y dedicar la mayor parte de madera, orujo, cáscaras, etc., etc., a la carbonización forestal e industrial, con el debido aprovechamiento de los productos derivados de vital interés.*

9.^a *Impulsar la producción de energía hidráulica, para reducir al mínimo la producida térmicamente y poder hacer frente a las constantes demandas de fuerza motriz; y*

10. *Electrificar la mayor parte posible de nuestras líneas férreas para mejorar los servicios y poder liberar grandes masas de combustibles, para nivelar nuestro balance energético y sacar mejor provecho de aquéllas. Impulsar también la electrificación rural para reducir el consumo de combustibles líquidos y salvar nuestros bosques.*

La realización de este vasto programa, cuyas orientaciones sólo han sido esbozadas, tropezará con dificultades para encontrar los equipos e instalaciones necesarias, exigirá una modernización y concentración de nuestros medios de producción, distribución y transporte, una política comercial audaz, pero, sobre todo, necesitará de la fe de todos nosotros y el más decidido apoyo, cosas que no habrán de faltarnos en aras al porvenir de nuestra industria, al amor a nuestra querida Patria, y al cariño que todos profesamos, dentro de cada especialidad, a nuestra carrera, que tanto nos une y a tanto nos obliga.

DOCUMENTACION

- Annuaire Statistique de la Société des Nations*.—Genève, 1945.
- Carbón, aire y agua*, de Roberto Wizniger.—Revisada, puesta al día y adaptada al caso de España por el Excmo. Sr. Don José M.^a Fernández Ladreda.—Edit. Afrodisio Aguado.
- De la carbonisation aux carburants d'aviation*, por Ch. Berthelot. Tomo I: Le pétrole et ses succédanés. Dunod, 1939. Tomo III: La cokerie centre de production de gaz, d'énergie thermique et de produits de synthèse. Dunod, 1941.
- Economía*. Revista núms. 464, 478 y 511, de fechas 30 abril y 30 junio 1948 y 15 abril 1950, respectivamente.
- El carbón y sus aplicaciones*, por W. A. Bove, traducido de la 2.^a edición inglesa por el Ingeniero de Minas D. Antonio Luis Villegas Escudero. Calpe, 1923.
- Essais des houilles destinées aux industries de la carbonisation*, por H. Cassau. Dunod, 1940.
- Estadísticas de la Cámara Oficial de Productores y Distribuidores de Electricidad*.—Madrid.
- Estadísticas del Sindicato Vertical de Agua, Gas y Electricidad*.—Madrid.
- La carbonización como aprovechamiento racional del carbón y su influencia en la economía nacional*, por D. Enrique Borrás Brucart, Ingeniero Industrial.—Noviembre 1948.
- La utilización eficiente del carbón*, por D. Enrique Borrás, Ingeniero Industrial. Trabajo presentado en las Primeras Jornadas de Ingeniería Industrial en Barcelona.—Junio 1948.
- Ojeada a la industria nacional*, por el Ilre. Sr. D. Alejandro Suárez, Director General de Industria. Conferencia dada en Barcelona el 9 de junio 1948 y publicada en la Revista *Dyna* de julio 1948, año XXIII, núm. 7.
- Revista Industrial y Fabril*.—Núm. 41, febrero 1950.

Al terminar la lectura del precedente trabajo, se da por finalizada la sesión, y se acuerda la continuación de la misma el día siguiente, martes, a las dieciséis horas.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 30 DE MAYO DE 1950

Constituída la Mesa por el Presidente y Secretario que actuaron en la sesión anterior y con el Sr. Patac como Vicepresidente, es abierta la reunión por el Sr. Presidente a las dieciséis horas, quien concede la palabra al Sr. Lucio Lantero para leer el trabajo siguiente:

N.º 161. - El problema de ventilación en las minas de carbón con grisú, con galerías corrientes de retorno de aire de más de 3.900 metros y volúmenes de 90 m³/s.

Autores: D. MANUEL LUCIO LANTERO y D. JOSÉ IGNACIO IZAGUIRRE RIMMEL

Ingenieros de Minas

I. VOLUMEN DE AIRE NECESARIO

El volumen de aire necesario para asegurar buena ventilación en minas de carbón con grisú, debe calcularse de forma que se logre, en las diversas zonas de la explotación minera, un porcentaje del peligroso gas por debajo de los límites en que, su existencia, pueda representar amenaza grave para la seguridad de los trabajos. Ciertamente que en otras ocasiones se toma como punto de partida otros fines que la ventilación está llamada a cumplir; por ejemplo, asegurar la cantidad de oxígeno suficiente para la normal respiración de obreros y animales, funcionamiento satisfactorio de lámparas de seguridad y motores de explosión, refrigeración de los frentes de trabajo, limpieza de gases no respirables, etc. Sin embargo, en una mina calificada como muy grisutosa estos últimos fines quedan siempre cubiertos cuando el cálculo se hace a base del primer punto que citamos.

La cantidad de grisú que desprenden las capas de

una explotación hullera es muy variable, por lo que se hace difícil dar cifras que sirvan de orientación segura, y únicamente la experiencia y conocimiento de las características del carbón y el yacimiento pueden servirnos para su aproximada determinación. La cuenca de Westfalia revela variaciones que oscilan entre 0 y 60 metros cúbicos de grisú por tonelada de carbón extraída, y en el Ruhr se admite como cifra media 7 m³/Tn. Pero no solamente se acusan variaciones de una mina a otra de la misma cuenca carbonífera, sino que, incluso en una misma mina, se encuentran variaciones muy considerables de una época a otra, que dependen, como es lógico, de explotar paquetes más o menos grisutosos, atravesar zonas de falla donde pueden acumularse bolsadas de gas, etcétera. Recientemente hemos tenido ocasión de comprobar esto en el Pozo Fondón de la S. M. D. F.: En el breve espacio de un mes la cifra a que antes nos referíamos pasó de 19 m³/Tn. a 47 m³/Tn., como consecuencia de cortar con los transversales de línea dos

focos grisutosos importantes. Esto planteó un grave problema de ventilación que, afortunadamente, se resolvió rápidamente, dado que las labores preparativas para aumentar y mejorar la ventilación del pozo, iniciada años atrás, estaban tocando a su fin.

Por estas razones es muy conveniente disponer de medios de ventilación amplios y conceder a este problema toda la atención que merece, sin olvidarse nunca que la mina tiene una existencia que pudiéramos llamar variable, y las necesidades de ventilación cambian continuamente. Es muy corriente afirmar que una ventilación intensa produce mayor desprendimiento de grisú, y, por lo tanto, no es aconsejable. Discrepamos en absoluto de esta opinión; cierto que el desprendimiento del grisú aumenta y, como consecuencia, la proporción contenida en la corriente general de retorno, pero no menos cierto que, de este modo, se evitan las acumulaciones peligrosas de este gas en campanas y zonas poco ventiladas, lugares donde verdaderamente ofrece peligro y donde se localiza la totalidad de las explosiones.

Consideraremos aquí un caso práctico de ventilación de una mina, con labores alejadas 4.000 metros del pozo de extracción, estudiando el problema desde el punto de vista técnico y económico. Con una producción de 1.000 toneladas diarias y una cifra de 30 m³ de grisú por tonelada extraída se necesita un volumen de 90 m³ por segundo de aire, a fin de asegurar un porcentaje de grisú en la corriente general de retorno, inferior al 0,3 % que señala el Reglamento de Policía Minera, para que la explotación no sea considerada «mina con mucho grisú».

II. RESISTENCIA OFRECIDA POR LA MINA

La corriente de aire en movimiento encuentra, en su marcha, la resistencia que ofrecen las galerías y labores de la mina al paso de la misma. Es, como se sabe, una resistencia de frotamiento de las venas gaseosas con la rugosidad de las paredes por donde discurre y los obstáculos de cambios de sección y dirección de su canalización.

Viene expresada por la fórmula:

$$h = K \frac{L P V^2}{S}$$

Consideremos los factores que la integran sobre los

cuales puede actuarse a fin de disminuirla y, como consecuencia, ahorrar energía:

K = Coeficiente de rugosidad.—Su valor oscila entre 0,0016 para galerías revestidas con cuadros de entibación, y 0,0003 para galerías revestidas de ladrillo o mampostería. Es decir, que, a igualdad de los demás factores, una galería entibada presenta una resistencia cinco veces mayor que la revestida.

Dadas las condiciones de nuestras galerías en dirección, es económico el revestirlas de ladrillo, siempre que su duración haya de superar los veinte años. La diferencia de coste en el revestimiento de madera (unas 400 ptas. por metro lineal) queda amortizada en este tiempo con los jornales de conservación economizados. Al mismo tiempo, conseguimos una mejora en la ventilación, facilitando el paso a la corriente en las galerías de entrada y salida de aire.

La misma consideración se aplica a los transversales generales en las zonas que han de fortificarse.

En realidad, este factor de la resistencia se tiene poco en cuenta, ya que resultaría antieconómico revestir galerías que hayan de estar en servicio pocos años, con el único fin de mejorar el paso del aire.

P = Perímetro de la galería.—El ideal es llegar a la sección circular, pero a esto hemos de objetar lo mismo que dijimos al estudiar **K**. Es de notar que la bóveda se aproxima bastante a esta sección.

V. y S = Velocidad y Sección.—Consideraremos estos factores en capítulo aparte.

Una resistencia que tiene gran importancia es la debida a cambios bruscos de dirección y que es muy interesante reducir al mínimo. Se ha calculado mediante experimentos de laboratorio los valores de estas resistencias adicionales, que son considerables. La diferencia, por ejemplo, de dar entrada a la corriente que circula por un transversal general a una galería en dirección mediante un crucero a 90° o un recorte que suavice el cambio de dirección, representa una resistencia igual a la que producirían 75 metros de galería.

III. ORIFICIOS EQUIVALENTES

Para los cálculos de ventilación se maneja una cifra conocida con el nombre de «orificio equivalente», y cuya expresión matemática es:

$$A = 0,38 \frac{V}{\sqrt{h}} \left\{ \begin{array}{l} V = \text{volumen circulante.} \\ h = \text{resistencia de la mina.} \end{array} \right.$$

Su valor da idea clara de la «anchura» de la mina en cuanto a ventilación. En las minas españolas su valor suele ser muy reducido (de 1,50 m² a 2 m²) en comparación con las usuales en el extranjero, que oscilan en torno a 3,8 m². Es cantidad eminentemente variable, puesto que la mina se modifica sin cesar y es preciso vigilar sus variaciones, que influyen en la buena y económica marcha de la ventilación.

No vamos a exponer métodos de cálculo que pueden hallarse en cualquier texto de laboreo de minas, aunque sí indicamos la conveniencia de dotar al oído del ventilador de un manómetro de columna de agua que permite observar los valores de la depresión y conocer en cada momento el valor del orificio.

Una consideración práctica es la conveniencia de repartir las corrientes de ventilación. En efecto, en varias galerías situadas en serie, las resistencias ofrecidas al paso del aire se suman, mientras que si se dividen las corrientes en paralelo resultan sumados los «orificios equivalentes», que dan un orificio total mayor que si hubiera una sola galería.

Evidentemente, esto tiene lugar en todas las minas por la subdivisión de la corriente general de entrada en múltiples parciales que limpian los diversos cuarteles, e incluso se da entrada restringida mediante taquillas en las compuertas de ventilación por los niveles intermedios entre el de entrada y retorno general de ventilación con el mismo fin.

Otra consideración de tipo práctico es la de llevar en cada cuartel de explotación las chimeneas lo más adelantadas posible, e incluso dar chimeneas en capas que no se trate de explotar con el único fin de «ensanchar la mina». Se obtiene con esto un doble ahorro en la energía consumida por el ventilador y en el aire comprimido empleado en los turbo ventiladores y difusores usados en la ventilación auxiliar de los fondos de saco.

En este último punto hemos calculado que económicamente nos compensa dar una chimenea de 60 metros, en carbón, cada 30 metros de avance de los transversales.

IV. VELOCIDAD DEL AIRE Y SECCIÓN DE LAS GALERÍAS PRINCIPALES

El Reglamento español fija como velocidad máxima de la corriente de ventilación ocho metros por segundo. Para ello se basa en el peligro que representaría velocidad mayor al hacer salir la llama de las lámparas de seguridad a través de los tamices. Realmente, con la iluminación eléctrica ha desaparecido prácticamente este peligro, pero velocidades mayores resultan molestas para el personal que circula por las galerías y, sobre todo, hacen aumentar mucho la resistencia de la mina, que, como hemos visto, crece con el cuadrado de la velocidad.

En el caso especial que consideramos de grandes volúmenes de aire al aplicar la conocida fórmula del gasto:

$$Q = V.S.$$

Obtenemos valores de la sección extraordinariamente grandes, y para el caso de $Q = 90 \text{ m}^3/\text{s}$, resulta $S = 11 \text{ m}^2$.

En general, las secciones de galería empleada para tracción con una sola vía oscila entre los 4,50 y 6 metros cuadrados. Con la concentración del arrastre en la planta inferior en un pozo de gran tonelaje, es corriente dar a esta galería general de arrastre secciones que oscilan en torno a los 10 m², a fin de poder llevar dos vías para circulación de trenes en dos direcciones. En este caso, al ser ésta la galería de entrada de aire cumple las condiciones necesarias para una buena ventilación, manteniendo la velocidad dentro del límite antes establecido.

V. EL PROBLEMA DE LAS GALERÍAS DE RETORNO

Generalmente, los pozos de entrada y salida de aire están ubicados en el mismo paraje, y ello da lugar a grandes dificultades de ventilación cuando por alejarse las explotaciones se hace preciso un retorno de aire de varios kilómetros, con el consiguiente aumento en la resistencia opuesta por esta larga galería.

Por otra parte, así como el aumento de costo de un mayor franqueo en la galería de última planta se justifica por necesidades de transporte, no sucede tal cosa en la primera planta, donde aquél es escaso y se limita, en la mayoría de los casos, al de las tierras que

han de servir para el relleno de los talleres de nivel inferior.

Tres soluciones pueden adoptarse: Una galería de retorno con sección de 10 m², dos galerías en paralelo con sección de 5 m² o la ventilación diagonal con la chimenea o pozo de salida en el extremo del campo de explotación.

Veamos algunas ventajas e inconvenientes de cada solución.

La de llevar una sola galería de retorno es la más económica en cuanto al franqueo; existe una diferencia de precio por metro de unas 350 pesetas a favor de una sola galería.

La ventaja de dos galerías paralelas es la mayor seguridad de servicio.

Sin embargo, la solución de una o dos galerías de retorno, cuando la mina se alarga considerablemente, resulta incompatible con una ventilación económica. Hay que recurrir entonces a la ventilación diagonal de que antes hablamos. A parte de resolver el problema, esta solución permite la electrificación del transporte en la planta superior, que con los actuales costos del arrastre por animales es circunstancia muy digna de ser tenida en cuenta.

La topografía de la región asturiana se presta mal a esta solución, que en terreno llano es fácil y racional. Nuestros pozos se ubican en los valles, y, a medida que avanzan las explotaciones bajo la montaña, aumenta la distancia de las plantas a la superficie.

Si la comunicación con el exterior no interesa que sirva para transporte o extracción, la mejor solución es la de pozo inclinado o ramplón que, convenientemente acondicionado, puede utilizarse también como entrada de personal, con lo que queda así disminuído considerablemente el tiempo perdido en trasladarse hasta los frentes de trabajo.

Económicamente, la obra debe iniciarse cuando la energía ahorrada por la reducción de retorno pague el costo de la comunicación, teniendo en cuenta, naturalmente, la duración en servicio de esta labor.

Basados en los costes de una labor de esta clase efectuada recientemente en el pozo Fondón, hemos deducido una fórmula que expresa los límites económicos de esta obra, que depende, como es lógico, del tiempo que haya de permanecer en servicio el ramplón.

$$C. L. \left(1 + \frac{K}{100} \right)^n = \frac{Q}{75} (h_1 - h_2) \times 7.200 \times n \times p.$$

C = costo del metro de ramplón.

L = longitud del mismo.

K = % de interés.

n = número de años que la labor ha de estar en servicio.

Q = volumen circulante.

$h_1 - h_2$ = disminución de pérdida de carga debido a la nueva labor.

P = precio de Km/hora.

Sustituyendo en la fórmula los valores particulares del caso del pozo Fondón, llegamos a la ecuación:

$$1,05^n = \frac{n}{5,9}$$

Es decir, que el costo de la obra quedaría amortizado en un período de seis años y medio, aproximadamente, suponiendo que el ventilador funcione de manera continua los trescientos días laborales del año.

VI. VENTILADOR. CURVAS CARACTERISTICAS

En la elección del ventilador para una mina es preciso tener muy en cuenta que el rendimiento mecánico varía cuando lo hace el orificio equivalente de la mina. La curva representativa presenta dos valores nulos del rendimiento para $A = 0$ y $A = \infty$, pasando por un solo máximo intermedio; pero dentro de esta regla general cada ventilador tiene su curva de rendimiento mecánico que se construye adaptando a su canal de aspiración orificios de pared delgada de secciones variables y midiendo los valores de V, h y energía consumida por el accionamiento. Siempre conviene un ventilador cuya curva presente el máximo lo menos agudo posible, de forma que se trabaje para el mayor número de valores posibles de A con buen rendimiento.

Análogas consideraciones pueden hacerse sobre el rendimiento manométrico del ventilador. Aunque la depresión teórica depende de la velocidad tangencial de los álabes según la fórmula:

$$h = 0,12 \mu^2$$

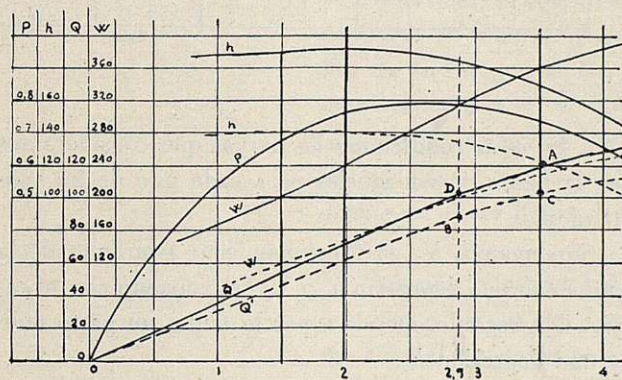
en el interior del ventilador se producen remolinos de aire que consumen energía y hacen que la depre-

sión real sea menor; aparece, por consiguiente, un «rendimiento manométrico», cuyos valores están, al igual que los del «rendimiento mecánico», en estrecha dependencia respecto al valor del orificio equivalente de la mina.

Como regla práctica de carácter general debe elegirse un ventilador cuyo orificio (el ventilador, al igual que la mina, tiene su «orificio equivalente») sea tres veces mayor que el de la mina. La experiencia ha probado que éstas son las condiciones óptimas de funcionamiento en cuanto a económica.

Las casas constructoras acompañan cada ventilador de sus llamadas «curvas características». Se construyen éstas midiendo los valores de V , h , rendimiento mecánico, rendimiento manométrico y energía consumida para un número fijo de revoluciones del rodete y diversos valores del orificio equivalente.

A la vista de estas curvas es fácil predecir, conocido el origen de la mina, cuáles serán las condiciones de funcionamiento de la instalación y elegir el que mejor cumpla las condiciones de volumen necesario con mínimo consumo de energía.



— Fig. 1 —

VII. REGULACIÓN DE LA VENTILACIÓN

El orificio equivalente de la mina sufre, como ya dijimos anteriormente, variaciones lentas y continuas.

Estas variaciones del orificio equivalente producen, para un ventilador que marcha a un número determinado de revoluciones, variaciones en el volumen circulante (Q) y la energía consumida (W).

(Véanse las curvas características.)

En el caso normal de una mina en explotación, el orificio equivalente disminuye al alargarse los reco-

rridos de ventilación y se hace precisa una regulación de ventilador, que, adaptándose a los nuevos valores del orificio, mantenga el volumen circulante.

Supongamos un ventilador girando a razón de n_1 vueltas por minuto, que trabaja sobre un orificio de $3,5 \text{ m}^2$, dando, por consiguiente, un volumen C . Si el orificio de la mina se reduce a $2,90 \text{ m}^2$, el punto de funcionamiento pasa de C a B y el volumen disminuye como se observa.

Para restablecer el antiguo volumen es necesario forzar las revoluciones del ventilador hasta $n^1 > n_1$, de modo que se verifique:

$$n^1 = n_1 \frac{\text{Vol. C}}{\text{Vol. B}}$$

Al variar las revoluciones varían las curvas de funcionamiento, que ahora son las de trazo continuo, y el ventilador trabajará en el punto D , dando un volumen igual al primitivo y con un consumo mayor de energía, todo lo cual puede apreciarse perfectamente en el gráfico.

Si el ventilador es accionado por máquina de vapor no hay dificultad alguna en la regulación de su velocidad.

Si se trata de un motor eléctrico, la regulación hay que hacerla sobre la polea de accionamiento, que no debe ser de garganta para correas trapezoidales, sino para transmisión por correa plana, a fin de facilitar el aumento o disminución rápido de su diámetro con forros adicionales de madera.

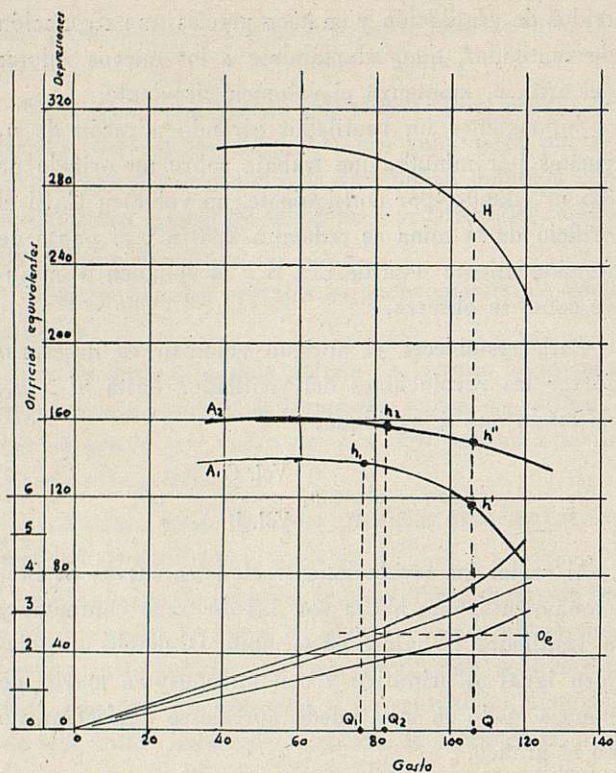
VIII. ACOPLAMIENTO DE VENTILADORES

Puede hacerse en serie o en paralelo. Veamos, con la ayuda de las curvas características de volumen-depresión y volumen-orificio equivalente, qué resultados pueden obtenerse.

Acoplamiento en serie.—Hemos considerado dos ventiladores A_1 y A_2 , que trabajando independientemente dan $Q_1 h_1$ y $Q_2 h_2$; al montarse en serie producen un volumen total Q y una depresión $H = h' + h''$.

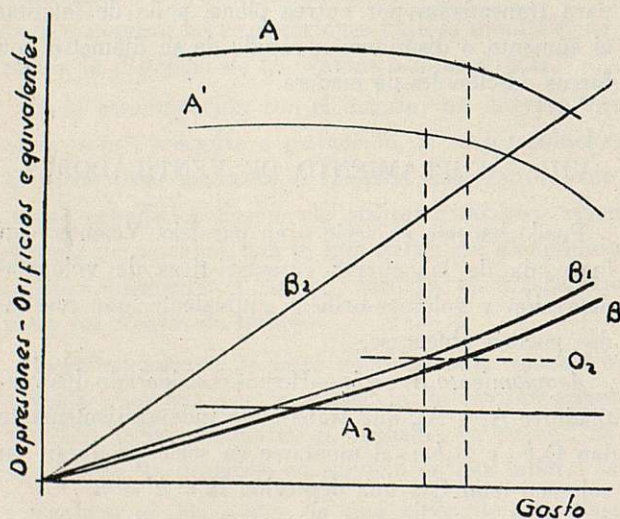
No es corriente ni aconsejable acoplarlos así, pues el rendimiento disminuye siempre.

La ventilación natural que aparece en toda mina por efecto del cambio de temperatura, composición y presiones atmosféricas, a que queda sometida la co-



- Fig 2 -

riente circulante, actúa como un ventilador en serie con el instalado, ya que produce una depresión que se suma algebraicamente con la de éste.



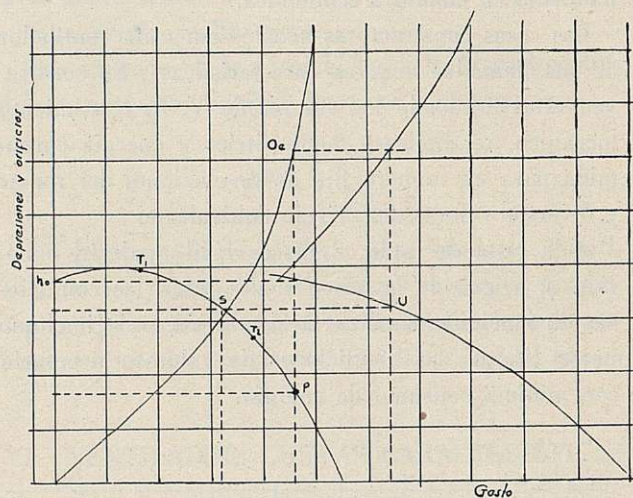
A, B, - Curvas de ventilador
A2 B2 - Curvas de ventilacion natural
A B - Curvas totales

- Fig 3 -

Esta depresión varía principalmente con la estación del año, pues su factor preponderante es la temperatura del ambiente.

En la figura 3 hemos representado el efecto de la ventilación natural en el funcionamiento de un ventilador de mina.

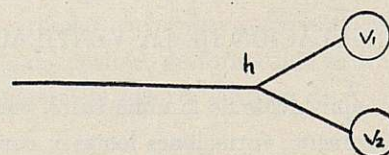
Acoplamiento en paralelo.—Los dos ventiladores que suponemos idénticos para mayor simplicidad, aspiran por dos chimeneas iguales y de resistencia despreciable en comparación con la total de la mina.



- Fig 4

En estas condiciones las curvas que consideramos en la figura 4, son iguales para cada uno de los ventiladores.

Supongamos V_1 en funcionamiento aspirando de la mina con una depresión h , y V_2 funcionando con su aspiración cerrada, que dan, por lo tanto, un gasto nulo y una depresión h_0 .



En estas condiciones abrimos completamente la aspiración de V_2 , y como $h > h_0$, V_1 aspira a través de la mina y de V_2 ; al aumentar el gasto de V_1 su punto de funcionamiento se desplaza hacia la derecha y puede detenerse en T_1 o T_2 . En el primer caso el funcionamiento se estabiliza y la puerta en servicio de V_2

disminuye el volumen en vez de aumentarlo. En el segundo caso, al ser h_0 superior a h , V_2 empieza a aspirar de la mina y vuelve a desplazarse V_1 sobre la curva, pero ahora en sentido contrario. Puede suceder que su desplazamiento sea excesivo y tengamos otra vez $h > h_0$, con lo que el ciclo se repite y el régimen no llega a estabilizarse. Si no sucede así y V_1 se detiene en un punto tal como P, llegamos a un régimen estable, cuyos resultados están representados en

el gráfico 4, con el punto de funcionamiento U, siendo S el punto común de funcionamiento de ambos ventiladores.

Sin embargo, el acoplamiento de ventiladores disminuye siempre el rendimiento de la instalación, por lo que no es aconsejable más que en casos en los que la urgencia de aumentar la corriente circulante no permite aplicar soluciones más racionales y económicas.

El trabajo fué aceptado por unanimidad, y concedida la palabra al Sr. Patac, Ingeniero de Minas, expone que no ha tenido ocasión, por el breve tiempo disponible, de redactar sus trabajos "La edad y la estructura tectónica de la cuenca hullera y permiana de Asturias" y "Cómo debe ser ordenada la explotación de esta cuenca".

Explica detalladamente cómo descubrió la existencia del terreno permiano en el Concejo de Siero (Asturias), en discrepancia dicho terreno con los del carbonífero medio, aunque en estratificación concordante con las pizarras supuestas pertenecientes al carbonífero superior.

Desarrolla a continuación su concepción original de las cuencas uralense y permiana en Asturias y su idea de que el carbonífero descubierto en las proximidades de Gijón, y que hoy se explota en las importantes minas de "La Camocha", pertenece, según él, al carbonífero superior, aunque con ello sostenga opinión contraria a la sustentada por el Instituto Geológico y Minero de España y la mayor parte de los Ingenieros que trabajan en Asturias. Lamenta el no poder entrar con detalle en cómo deben ser ordenadas las explotaciones de la cuenca hullera y permiana.

Después de las palabras del Sr. Patac, el Presidente anuncia que va a procederse a la lectura de las conclusiones de la Ponencia elaborada en el Instituto de Ingenieros Civiles de España sobre "APROVECHAMIENTO RACIONAL DE COMBUSTIBLES", en cuya preparación intervinieron los siguientes Ingenieros:

SUBPONENCIA A). - Combustibles sólidos.

CENTRAL.

Vocales:

- D. Antonio Lucio Villegas y Escudero, Ingeniero de Minas.
- » Juan García Dueñas, Ingeniero de Minas.
- » Paulino Martínez Hermosilla, Ingeniero de Montes.
- » Francisco Pintado Fé, Ingeniero de Minas.
- » Emilio Durán Cao, Ingeniero de Minas.

Colaboradores:

- D. Marcelino Diego Cendoya, Ingeniero Industrial.
- » Rafael Lecuona Cabrera, Ingeniero de Minas.
- » Carlos Anné Aguirre, Ingeniero de Minas.
- » Carlos Bertrand Bertrand, Ingeniero de Minas.

SUBPONENCIA B). - Combustibles líquidos.

Vocales:

- D. Antonio Mora Pascual, Ingeniero Industrial.

D. Justo Larrea Eguidazu, Ingeniero Industrial.

» César Fallola, Ingeniero Agrónomo.

Colaboradores:

D. Emilio Siegrist Spinedy, Ingeniero Industrial.

» Luis Mazarredo Beutel, Ingeniero Naval.

SUBPONENCIA C). - Combustibles gaseosos.

Vocales:

D. Luis Sanguino Benítez, Ingeniero de Montes.

» Cristóbal Fernández Prieto, Ingeniero Industrial.

Colaboradores:

D. Luis Benito Villanueva, Ingeniero Industrial.

» José Capmany Arbat, Ingeniero Industrial.

» Luis Marquet Torrén, Ingeniero Industrial.

PRESIDENTE: D. Antonio Mora Pascual, Ingeniero Industrial.

SECRETARIO GENERAL: D. Juan García Dueñas, Ingeniero de Minas.

SECRETARIO ADJUNTO: D. Marcelino Diego Cendoya, Ingeniero Industrial.

El trabajo fué leído por el Sr. Secretario y es el siguiente:

Aprovechamiento racional de los combustibles (PONENCIA)

PREÁMBULO.

Los trabajos de esta Ponencia se han dirigido al estudio del estado del aprovechamiento en España de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos y de las medidas que conviene adoptar para mejorar este aprovechamiento, consiguiéndose así una ganancia en cantidad y en calidad de los servicios rendidos por los combustibles de que se dispone, actuando para ello, sobre su *preparación*, su conveniente *distribución*, según sus características, y, finalmente, sobre su *consumo* por los usuarios con el mayor rendimiento prácticamente posible.

La importancia que para la economía nacional tiene el aprovechamiento racional de los combustibles, apenas hay necesidad de hacerla destacar. La preocupación, rayana en la ansiedad, ante la escasez, sentida frecuentemente, del combustible necesario para la producción eléctrica, las demás industrias, los medios de transporte y hasta para el consumo doméstico, ha alcanzado a todas las clases sociales, que muestran gran interés por cualquier información referente a la situación actual del suministro y su posible mejora.

Es claro que un aprovechamiento racional de los combustibles de que disponemos puede ayudar mucho a resolver este problema, consiguiéndose así una economía importante sobre el consumo, el que se

puede valorar en importante número de millones de pesetas anuales.

En nuestro país no abundan, desgraciadamente, yacimientos naturales de combustibles de todas clases. Hay que recurrir, en cuanto a las calidades, no sólo a los de calidad superior (hulla), sino también a los mediocres (lignito) y aun a los de clase inferior (lignito en polvo); respecto a los líquidos, el petróleo; cuando menos por ahora, no lo vemos surgir espontáneamente, y es preciso procurárnoslo por la pirogenación de pizarras bituminosas y aun por vía sintética. La repoblación forestal, por otra parte, ha de procurarnos abundancia de residuos leñosos para su carbonización.

Hay otro aspecto en la explotación de combustibles que no podemos olvidar. Nos referimos a la serie de productos o derivados que de ellos proceden, base de importantes sectores industriales, que los utilizan como materia prima en fabricaciones cuyo número crece de día en día. La abundancia, pues, de los primeros ha de repercutir en la de estos últimos, más indispensables en estos tiempos y en los futuros que se avecinan.

El tanto por ciento de economía que sobre este consumo es posible obtener varía, evidentemente, de un caso a otro; pero, en conjunto, el camino que hay que recorrer desde el estado actual de este aprovecha-

miento hasta su razonable perfección es tan amplio que hay margen para muy elevados porcentajes de mejora.

Esta mejora de rendimientos preocupa, asimismo, a todas las naciones, como se vió en la reunión de La Haya, en 1947, de la «Conferencia Mundial de la Energía», que se dedicó exclusivamente a su estudio. Son muy interesantes los trabajos e informaciones que presentaron allí los diversos Comités nacionales sobre la situación de este aprovechamiento en sus respectivas naciones y sobre las mejoras que veían posibles con la aplicación de los medios más adecuados. Entresacamos del informe belga, que cifraba la economía conseguida en varios años de continuados esfuerzos en el 25 ó 30 % del consumo normal del país, que es de unos 30 millones de toneladas de carbón mineral. En el informe inglés se consideraba posible el ahorro de 80 millones de toneladas de carbón en el conjunto de los consumos industrial y domésticos.

Para apreciar debidamente el valor de nuestra economía de una mejora en el aprovechamiento de los combustibles de todas clases, no basta cifrar en pesetas el importe del combustible economizado, sino que hay que considerar que, en las circunstancias actuales, su escasez produce frecuentemente un estrangulamiento de la producción en diversas ramas industriales, con daños económicos mucho mayores que el valor del combustible que falta, del que podría disponerse mediante un aprovechamiento racional del consumido actualmente.

No se oculta a esta Ponencia la dificultad de la tarea que supone el llevar a buen término el plan de aprovechamiento de los combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, pues no basta que se fijen directrices generales del plan, ni siquiera que se detalle en sus varios aspectos, sino que hace falta activa y voluntaria cooperación de todos los elementos relacionados con la preparación, distribución y el consumo de los combustibles. En esto, como en toda actividad racional, ha de preceder lógicamente el conocimiento a la acción. Así, pues, una vez fijadas las directrices del plan, es preciso para su realización el llevar a conocimiento de los interesados las deficiencias del actual, el aprovechamiento y los medios prácticos de mejorarlo en la parte que a cada uno le corresponde.

Esto requiere, naturalmente, amplio trabajo de organización, dirigido por un Organismo oficial, como

autoridad competente en este aspecto de la economía nacional, que, con la cooperación de los demás existentes de carácter oficial, imprima continuidad o permanencia a los trabajos para resolver el problema que nos ocupa con la ayuda eficaz de los elementos productores, distribuidores y consumidores. Todo ello, trabajando en forma orgánica y dentro de una unidad, puede aproximarse a un ideal en la cuantía de las posibles economías de combustibles de todas clases en nuestro país. Nos referimos al Instituto Nacional del Combustible, integrado en el Patronato «Juan de la Cierva de Investigación Técnica», del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, como núcleo central para el estudio de este problema, contando con el Instituto Nacional del Carbón, Instituto de Racionalización, Comisión Distribuidora del Carbón, Centros de Investigación «Calvo Sotelo», Inta, etc.

Queremos hacer mención, entre los múltiples casos que se presentan en la economía nacional, tan sólo a uno de ellos, donde podrán conocerse las ventajas que habrían de conseguirse con una utilización lo más racional posible de los combustibles.

Nos referimos al servicio ferroviario de la R. E. N. F. E., que, con un consumo en el año último de toneladas 2.700.000, que se refiere a 115 gramos por Tm/Km. en lugar de 80 a 82 gramos en los años 1934-35, si se rebajara sólo a 100 gramos podría considerarse una economía, suponiendo el precio del carbón a 271 pesetas Tm., de 95 millones de pesetas anuales, dejando libres 350.000 toneladas, las que, a su vez, podrían destinarse a diversas industrias, que se han perjudicado grandemente por la penuria del combustible hulla.

Análogos razonamientos pueden hacerse en relación con las fábricas de gas, empresas siderúrgicas, etc.

Bien merecen estos esfuerzos los grandes beneficios que se pueden conseguir con esta tarea y que, finalmente, se traducirían en aumentos y abaratamientos de la producción en todas las ramas industriales, con las consiguientes mejoras en el nivel de vida de grandes masas humanas en toda España.

No es de extrañar, pues, que el Instituto de Ingenieros Civiles, conocedor de la importancia de este problema, se haya preocupado de su solución, constituyendo esta Ponencia, que ha de ser objeto de estudio en el II Congreso Nacional de Ingeniería.

Para cumplir su misión, la Ponencia ha constituí-

do tres Subponencias relativas a combustibles sólidos, líquidos y gaseosos, respectivamente, con la segregación en la primera de lo relativo a combustibles forestales, y con la consideración especial, dentro de la última, de la fabricación de gas de hulla.

Se deduce de las conclusiones redactadas por estas Subponencias que el problema del aprovechamiento racional de los combustibles entraña el desarrollo más completo de las funciones de los Organismos que el Estado ha creado y mantiene, haciéndose cargo de la importancia del problema examinado por esta Ponencia.

Entre estos Organismos resalta el Instituto Nacional del Combustible del Patronato «Juan de la Cierva de Investigación Técnica», que, en virtud de sus funciones específicas, es el encargado del planeamiento y desarrollo de la investigación en el campo de los combustibles, con la finalidad concreta de lograr el aprovechamiento racional de los mismos. A dicho Instituto, por lo tanto, y en definitiva, al Patronato «Juan de la Cierva de Investigación Técnica», deben considerarse dirigidas las recomendaciones y sugerencias que en las conclusiones de las Subponencias se hacen para que, en relación con los centros de él dependientes, directa o indirectamente, se hagan efectivas.

CONCLUSIONES DE LA PONENCIA

Las conclusiones de la Ponencia, concretadas en forma de recomendaciones, en orden al mejor aprovechamiento de los combustibles sólidos, son las siguientes:

COMBUSTIBLES SÓLIDOS.

a) *Recomendaciones a los Poderes públicos.*

1.^a El Instituto Nacional del Carbón, dedicado al planeamiento y desarrollo de la investigación en el campo de los combustibles sólidos con la finalidad concreta de lograr el aprovechamiento racional de los mismos, cuenta con una dotación económica, arbitrada a través de aportaciones de la industria particular, suficiente para su sostenimiento, pero muy alejada de la necesaria para proceder a la habilitación de sus distintas Dependencias en la forma que su misión re-

quiere. Es, por lo tanto, de la mayor importancia que, en el plazo más breve posible, el Estado conceda los créditos necesarios para la instalación de las plantas experimentales que dicho Instituto tiene proyectadas y que son indispensables para llevar a cabo, con la adecuada amplitud de miras, los experimentos y estudios que han de conducir, en definitiva, a la resolución del problema cuyo examen ha sido encomendado a esta Subponencia.

2.^a La Ley que fija los precios de tasa de las hullas debería ser modificada al objeto de fijar porcentajes máximos de cenizas y humedad más de acuerdo con las necesidades técnicas de las industrias de la carbonización para la fabricación de coque; para los menudos de hulla consumidos en la coquización tales límites teóricos deberían ser: el 9 % de cenizas y el 9 % de humedad, a menos que las condiciones de lavabilidad de un carbón particular aconseje variar la rigurosidad de este tope máximo de cenizas. Los precios de venta deberán establecerse en consonancia con estas nuevas características exigibles al producto lavado, y será asimismo necesario estudiar la conveniencia de fijar estos precios atendiendo a la calidad de las hullas (marcada por su utilización industrial) y no solamente basándose en el tamaño, actualmente denominado *clase*.

3.^a Al objeto de unificar las denominaciones de estas clases, es muy conveniente el establecimiento, con carácter obligatorio, de una clasificación en tamaños comerciales, del tipo de la indicada en el desarrollo del párrafo V.

4.^a Para lograr la aplicación lógica de los «carbones pobres» y permitir la explotación de yacimientos de combustibles de baja calidad, es de gran interés incrementar la instalación de plantas termoeléctricas en bocamina para obtener una capacidad de 3.000 millones de Kw-h. anuales. Dada la importancia nacional del servicio de producción de energía eléctrica, y habida cuenta del alivio que la energía termoeléctrica debe prestar en épocas de sequía, el Estado debiera fomentar la instalación de tales centrales, concediendo las máximas facilidades para su construcción.

5.^a Es del mayor interés que el Estado preste su apoyo para llevar a la práctica las siguientes recomendaciones que se hacen al Instituto Nacional del Carbón.

b) *Recomendaciones al Instituto Nacional del Carbón.*

1.^a Que el Instituto proceda a la confección de unas normas para ejecutar los ensayos de determinación de materias volátiles y de índice de hinchamiento al crisol de los carbones, para su distribución a los productores de hullas, al objeto de que éstos las apliquen y hagan figurar los datos deducidos en sus partes de producción, para poder ir clasificando las hullas producidas con arreglo a la clasificación provisional que se indica en el párrafo II.

2.^a Esta clasificación, en unión de los empleos más racionales de los distintos tipos que en ella se establecen, deberá ser distribuída entre los productores y consumidores, al objeto de comenzar seguidamente una labor educadora en cuanto al empleo racional de las distintas clases, eliminando los bajos rendimientos que provienen de usos indebidos.

3.^a Es de la máxima importancia que el Instituto intensifique, de manera inmediata, los estudios que ha emprendido en relación con la preparación de mezclas coquizables, y para vapor, y que gestione del Estado la habilitación de los créditos necesarios y las ayudas pertinentes para la instalación de sus laboratorios y plantas experimentales de investigación.

4.^a El Instituto deberá proceder seguidamente a la edición de cartillas divulgadoras destinadas a los encargados y fogoneros de las instalaciones térmicas, con instrucciones adecuadas al mejor aprovechamiento del combustible utilizado. Esta labor debería ser completada con demostraciones prácticas.

c) *Recomendaciones a las empresas productoras.*

1.^a Que cooperen con los Poderes públicos y con el Instituto Nacional del Carbón, en relación con el establecimiento de las clasificaciones, en tipos de aplicación y por tamaños, que se han indicado, y en cuanto a la depuración a los límites de cenizas y humedad que se les marquen, dado que a los productores debe corresponder, en forma destacada, la vigilancia del cumplimiento de cuantas instrucciones puedan dictarse en relación con el aprovechamiento racional de los combustibles; teniendo muy en cuenta que su puesta en práctica ha de redundar, en definitiva, en su propio beneficio.

2.^a Que para la implantación de las normas indicadas de perfeccionamiento se dispongan a la sustitución paulatina de las instalaciones viejas por otras modernas, de tal manera que los sacrificios económicos impuestos puedan ser amortizados como consecuencia de la obtención de mejores productos.

d) *Recomendaciones a los consumidores.*

1.^a Que colaboren con los Poderes públicos y con el Instituto Nacional del Carbón en la vigilancia de la puesta en práctica de cuantas instrucciones sean dictadas en relación con el mejor aprovechamiento de los combustibles, teniendo en cuenta que, persiguiendo la obtención de mejores rendimientos, tales instrucciones tendrán siempre por consecuencia la disminución en la cantidad de carbón utilizado y, en definitiva, la obtención de un precio de coste más bajo de los productos fabricados o de la transformación de energía que suponga la instalación.

2.^a Que vigilen, con el máximo interés, la conducción del fuego en los hogares de las calderas y hornos, sin descuidar en lo posible la instalación de los aparatos registradores del contenido de CO₂ en los gases de la combustión, y del tiro de las chimeneas; la vigilancia y regulación de las admisiones de aire primario y secundario, y de la temperatura de los gases, así como el establecimientos de balances térmicos; práctica que no debiera omitirse en ningún caso.

3.^a Que tengan presente la conveniencia, sin excepciones, de instalar las nuevas plantas con arreglo a los modelos más modernos y convenientes para la clase de carbón de que dispongan, y que consulten al Instituto Nacional del Carbón en cada problema particular.

4.^a Que la Red Nacional de los Ferrocarriles Españoles proceda, en el menor plazo posible, a la construcción de las centrales de mezclas que tiene en proyecto.

5.^a Que la R. E. N. F. E. proceda, en colaboración con el Instituto Nacional del Carbón, a la confección de unas instrucciones detalladas con destino a los fogoneros de locomotoras, al objeto de lograr el máximo rendimiento de los combustibles de que pueda disponerse.

I.—*Utilización de las leñas como combustible.*

1.^a El aprovechamiento de las leñas como combustible se hace, en nuestro país, en condiciones muy deficientes, y, sin embargo, se puede afirmar que, salvo para usos excepcionales (hornos de alta temperatura), las leñas son un combustible de calidad superior, de fácil y económica utilización, de cuya combustión pueden obtenerse rendimientos análogos a los conseguidos en el caso del carbón mineral.

2.^a El uso de las actuales técnicas de combustión de las leñas en dos tiempos ha de considerarse como uno de los fines esenciales para conseguir el proceso de racionalización que esta Ponencia considera. Se hace necesaria la modificación de los actuales hogares para leñas, tanto los utilizados en la calefacción doméstica o industrial como en cualquier otro uso, substituyéndolos por hogares de combustión en dos tiempos u hogares gasógenos simples y monobloques, que permiten la gasificación total de la madera y la ulterior combustión de los gases producidos.

3.^a La eficacia en la combustión de las leñas se encuentra íntimamente ligada a la uniformidad como la misma se presenta troceada, y se obtienen los mejores resultados con leñas preparadas en trozos de pequeñas dimensiones y en forma pulverulenta o de serrín. Se encuentra justificado recomendar para la combustión de las leñas en esta última forma los hogares que utilizan el combustible en suspensión y los modernos artificios Hopper, proyectados por el Instituto de Investigaciones de Productores Forestales de Londres. Debe proibirse el uso de las leñas verdes.

4.^a Los nuevos sistemas empleados para la combustión de las leñas, al exigir que las mismas se encuentren debidamente troceadas y secas, permiten una mecanización de los dispositivos de carga de los hogares, de señalado interés económico, como consecuencia de la gran cantidad de leñas que es necesario quemar para conseguir un determinado efecto útil.

Resulta necesario transformar, de acuerdo con esta directriz, los sistemas actualmente empleados para la alimentación de los hogares de leñas, substituyéndolos por aparatos mecánicos de alimentación automática, que evitan el empleo de la costosa mano de obra que tal operación exige en la actualidad.

5.^a Como la leña es un combustible utilizado en nuestras zonas rurales, principalmente en las de carácter forestal, y su aprovechamiento obedece a razones de la propia economía campesina sin la conveniente ligazón, con el fin de racionalización que informan los trabajos de la presente Ponencia, se estima conveniente, para conseguir un aprovechamiento más racional de la misma en los medios rurales, su valorización en las propias zonas de producción, fomentando para ello las industrias que la utilizan como primera materia. Esta industrialización *in situ* de las leñas y residuos leñosos ha de producir un razonable encarecimiento de las mismas en las comarcas rurales y, por ende, ha de fundamentar el impulso económico necesario para que el proceso de racionalización que se desea discurra por cauces naturales.

En el aspecto a que se refiere esta Ponencia, tiene especial significación la implantación y expansión de la utilización de las leñas como carburantes, su carbonización en instalaciones fijas y su industrialización como origen de combustibles líquidos y otros productos derivados; aspectos a los cuales se refieren las siguientes conclusiones:

II.—*La leña y el carbón vegetal, como carburante de substitución.*

6.^a El problema del carburante nacional, singularmente, la utilización como tal de las maderas y leñas, debe ser objeto de un programa gubernamental estudiado en el seno de la Junta de Gasógenos, con la colaboración de los Organismos de la Administración Forestal que se estimen pertinentes, singularmente del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y del Servicio de la Madera.

7.^a El expresado programa gubernamental deberá referirse, entre otras cuestiones de menor interés, a las siguientes:

a) Normas de calidad de las leñas y de los carbones vegetales carburantes, de forma que se garantice plenamente su calibrado, humedad y cenizas.

b) Distribución de las leñas y de los carbones vegetales carburantes en la forma más adecuada para permitir que su utilización pueda llegar a realizarse sin necesidad de que el usuario transporte en cada caso el correspondiente carburante de reserva.

c) Construcción de motores de gas de gasógeno y adaptación de los ya existentes, que por sus características permitan tal operación.

8.^a El carburante forestal es particularmente interesante y ofrece un pleno rendimiento, dentro de límites muy económicos, como carburante rural de in-sostituible utilización en la mecanización de nuestra explotación agrícola y forestal y en la pequeña industria rural comprendida en aquellas zonas de deficiente electrificación, o cuando la energía eléctrica suministrada a las mismas resulta insuficiente, caso este último muy frecuente en los últimos tiempos.

Fuera de esta utilización como carburante rural, los gasógenos de leña y de carbón vegetal pueden ser utilizados con buen éxito en muchos trazados sin grandes pendientes y cuando se trate de transportes de carácter industrial; asimismo resulta interesante su empleo en automotores de uso ferroviario.

9.^a Debe incrementarse, en la medida mayor posible, la utilización del gas forestal, tanto en instalaciones fijas de producción de fuerza motriz como en la tracción de vehículos automóviles. Para ello se estima recomendable la adopción de dos tipos de medidas:

a) Económicas: Toda clase de ventajas económicas, comprendidas la exención de cargas fiscales, créditos e incluso subvenciones, para que el usuario del gasógeno encuentre un verdadero beneficio en su utilización.

b) Otra clase de medidas: Recomendar el uso del gasógeno en ciertos servicios públicos, principalmente en los de transporte de mercancías por carretera y de una manera particular en determinados usos ferroviarios: tractores de maniobras, automotores de pequeña potencia, centrales eléctricas de socorro, etc.

10.^a Ordenación estatal del plan necesario para asegurar el suministro de leñas y de carbones vegetales —o de botellones de gas comprimido en los casos en que se utilice esta solución—, a las diferentes estaciones de suministro que, de acuerdo con las normas sobre distribución de carburantes, pudieran llegar a organizarse.

11.^a Protección, referida a los tres aspectos siguientes, de la industria nacional de adaptación y fabricación de motores de gas de gasógeno:

a) Ayuda técnica.

b) Reducción o exención de cargas fiscales e incluso subvención estatal, si ésta se hiciera necesaria.

c) Afirmación de permanencia por parte del Estado de su política en relación con la utilización del carburante forestal de forma que se consiga la seguridad de que la misma ha de tener la necesaria continuidad, y de que sus efectos han de hacerse ostensibles en todo momento.

III.—La carbonización de la madera.

12.^a La carbonización de la madera en el monte, en hornos o pilas, se realiza en nuestro país en extensas áreas forestales en las que, por la escasa densidad superficial de sus producciones leñosas y por la lejanía en que las mismas se encuentran de los centros consumidores, tal modalidad encuentra una aceptable justificación, aun a pesar del bajo rendimiento energético que la misma proporciona.

No obstante, se estima justificado aconsejar su limitación, por razones económicas, mediante el fomento de la carbonización en instalaciones fijas.

13.^a Una política de fomento y racionalización de la carbonización de la madera en instalaciones fijas con recuperación de subproductos, así como de la preparación de aglomerados de carbón vegetal comprimidos, y ulterior industrialización de los líquidos piroleñosos, que permita poner en explotación producciones leñosas que por su diseminación y por la lejanía en que se encuentren de los centros consumidores son en la actualidad carboneadas en el propio monte, debe referirse, entre otros aspectos de menor interés, a los siguientes:

a) Introducción en la técnica industrial, cuando a ello haya lugar, de instalaciones de destilación de pequeña capacidad, que únicamente realicen el desalcoholizado y concentración de los líquidos piroleñosos y que se encuentren ligadas para su ulterior industrialización a centros de tratamiento convenientemente situados con instalaciones de extracción de ácido de gran capacidad.

b) Modernización de los dispositivos de carbonización, reduciendo todo lo posible el uso de retortas horizontales fijas con carro de retortas, de capacidad media, y de retortas verticales movibles de pequeña capacidad, de empleo muy generalizado, substituyéndolos por los nuevos hornos continuos verticales de

calentamiento por contacto de gases y aporte directo de calor, tales como los hornos Sific, cuyas extraordinarias ventajas han sido señaladas en el apartado correspondiente de la Memoria.

c) Industrialización al máximo de los alquitranes resultantes de la carbonización, organizando para ello, si resultara necesario, el agrupamiento de las fábricas productoras, de forma que, reuniendo los alquitranes de las mismas, se pudiera dar lugar a la instalación de destilerías de gran capacidad y mínimo coste de fabricación.

14.^a Revisión de la situación actual de la industria española de destilación de la madera. Esta revisión deberá referirse tanto a la localización de los centros fabriles y a su ligazón con el monte —principalmente la particular relación que en una economía libre deberá establecerse entre el monte como fuente de primera materia y la fábrica como instrumento de transformación a él ligado—, como a los procesos de fabricación, técnicas empleadas en las diferentes transformaciones y singularmente las capacidades mínimas de tratamiento que deben adoptarse.

De acuerdo con los problemas que tal revisión plantea, se hace necesario solicitar de la Administración Forestal interesada llegue a establecer una forma de conexión entre el monte como origen de primera materia y la fábrica que haga posible el establecimiento de factorías, que, como las de la actual industria químicoforestal, han de contar, como condición previa para su desarrollo, con una seguridad y constancia absoluta en el abastecimiento de sus materias primas.

15.^a Impulsar, con las ayudas económicas y legales que se hagan precisas, la creación de una técnica nacional, aplicable al proceso de fabricación de la industria de la destilación de leñas, de forma que el fabricante encuentre a su alcance el necesario asesoramiento para la solución de sus problemas técnicos y los dispositivos de trabajo que el progreso de la industria exigen.

IV.—*La madera hullificada y los combustibles líquidos derivados de la madera.*

16.^a La Ponencia se cree obligada a destacar el singular interés que para el aprovechamiento racional de las leñas tienen los nuevos sistemas de fabricación de madera hullificada y de producción de com-

bustibles líquidos derivados, principalmente, la obtención de alcohol de hidrólisis o cetona carburante y metanol de síntesis.

Es particularmente interesante la producción de gas de síntesis por el procedimiento Lacotte, el cual puede fundamentar la industrialización de una parte importante de nuestras producciones leñosas, no sólo en el ámbito peninsular, sino incluso también dentro de nuestras posesiones del Golfo de Guinea. El procedimiento Lacotte, que, con ayuda de oxígeno, permite producir la transformación directa de la leña en gas de síntesis y, por ende, en elementos tan sustanciales para nuestra economía industrial como el amoníaco, puede perfectamente adaptarse a la naturaleza y a la peculiar forma de explotación del monte guineense.

COMBUSTIBLES LÍQUIDOS.

1.º *Mejor aprovechamiento de los combustibles.*

Es urgente y necesario el estudio político y económico, con miras al porvenir, del mejor aprovechamiento de los combustibles líquidos, con el fin de disponer de reservas que puedan ser utilizadas en momentos en que la economía y la defensa nacional lo exijan.

2.º *Justificación.*

a) Para el alcohol urge llegar a un conocimiento completo del total disponible de alcohol deshidratado para usos carburantes, de 99,8 de graduación, obtenido de los residuos vínicos y de las melazas de remolacha azucarera, pues es de esperar en breve, al aumentar los nuevos regadíos, un incremento de remolacha que pueda dejar en el mercado un excedente de 30.000 m³ de alcohol de melazas, que representa un 5 % del consumo actual de gasolina, y, por tanto, uno de los elementos de reserva con que se puede contar en España.

b) La fabricación de benzol y demás hidrocarburos similares deberá ampliarse al máximo mediante la instalación de nuevas baterías de hornos de coque y también con la reconstrucción de las actualmente en uso, por si en un plazo más o menos lejano, estando abastecidas las diversas industrias que en el país los utilizan, puedan llegar las disponibilidades a

su empleo como combustible, actualmente de menos interés por la preparación por otros medios de gasolina de elevado número de octano.

c) En cuanto al petróleo, aunque de momento no se encuentra en España, urge llevar a cabo un estudio sistemático en las exploraciones de conjunto, y no de la manera esporádica con que se están llevando hoy día, con grandes esfuerzos y sacrificios económicos y resultados negativos.

3.º *Tipificación de los combustibles líquidos.*

a) En los derivados del petróleo se deberá llegar a una unificación de nomenclaturas y análisis, con el fin de darles el uso más adecuado, debiendo utilizarse como normas las de la American Society for Testing Materials (A. S. T. M.).

b) En aceites de motores, se deben adoptar las normas internacionales de la Society Automotive Engineering, conocida por S. A. E., que fijan todas las características y principalmente los índices de viscosidades.

c) Es indispensable llegar a un acuerdo con los constructores de material eléctrico y consumidores de aceites destinados a transformadores e interruptores, para la determinación de la *rigidez dieléctrica*, pues hoy día hay una anarquía en todo el mundo, y cada país tiene normas de medida distintas, que convendría unificar. El Instituto de Racionalización del Trabajo, del Patronato «Juan de la Cierva», y, en general, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, pueden prestar a este particular grandes servicios.

4.º *Centros consultivos y de comprobación y vigilancia.*

Los usuarios españoles deben acudir en sus dudas o consultas a los centros de investigaciones y laboratorios de la C. A. M. P. S. A., Empresa «Calvo Sotelo», I. N. T. A., C. E. P. S. A. y los que estén capacitados y que cuenten con material y técnicos especializados para todas sus actividades.

5.º *Nomenclatura de los derivados del petróleo.*

Debe darse la mayor publicidad a una nomenclatura completa para todos los derivados del petróleo y los empleos de cada uno de ellos, con el fin de que

los usuarios españoles los utilicen con la mayor economía posible y los que corresponden en cada caso.

6.º *Almacenamiento de combustibles líquidos.*

En la misma forma que está establecido un Reglamento para las instalaciones de la Industria Petrolífera, debe obligarse a que se adopten las mismas normas en todas las instalaciones de combustibles líquidos en general, por lo que los Organismos competentes, Ayuntamientos, Delegaciones de Industria, Obras Públicas, etc., deberán obligar a que se ajusten a una Reglamentación.

7.º *Transporte de combustibles líquidos.*

Debe desterrarse el empleo de barriles de madera y vasijas de vidrio para el transporte de cualquiera de los combustibles líquidos que se utilizan en España, y emplearse el camión, vagón o buque cisterna, adecuado y preparado para dichos fines, y cuando se empleen envases metálicos, las facturaciones deben ser por vagones completos.

COMBUSTIBLES GASEOSOS.

1.ª En las investigaciones mineras en que se sospeche la presencia de gases naturales, se adoptarán las precauciones necesarias para la caracterización y valoración, a fin de deducir su aplicabilidad económica mediante los pertinentes estudios, sea para su utilización directa, sea para la extracción y distribución de butano liquidado.

2.ª Se seguirá recogiendo información sobre los experimentos extranjeros sobre carbonización subterránea por si, una vez prospeccionadas totalmente nuestras reservas de carbones aptos, se dedujera la conveniencia de intentar alguna adaptación de estos procedimientos de obtención de gases utilizables.

3.ª Cuando los combustibles reúnen las condiciones adecuadas para su gasificación, serán así aprovechados en motores fijos o automóviles, estableciéndose al efecto la previa aprobación oficial de los tipos de gasógeno, basada en experimentación de su eficacia, estabilidad de funcionamiento y seguridad de conducción.

4.ª Si de los estudios y ensayos preconizados así resulta más económico, se ampliará la gama de com-

bustibles gasificables a la turba desecada, a los lignitos húmedos o pulverulentos, a los residuos de lavado de hullas aglomerables, etc., entre los combustibles naturales minerales; y de las leñas, carbones, cáscaras, orujos, etc., de origen vegetal.

5.^a Se estimularán las transformaciones a combustible gaseoso de las instalaciones en que resulte menos económico o conveniente el empleo actual de combustible sólido, pulverizado o no, o combustible líquido de producción nacional o importado.

6.^a En las industrias, como las siderúrgicas, productoras de gases combustibles, se racionalizará el aprovechamiento de las calorías para reducir al mínimo el desperdicio, adoptando los dispositivos de limpieza y utilización de tales gases que conduzcan al mejor rendimiento térmico en las aplicaciones que, aparte de las de índole química, resultan económicamente preferibles en cada unidad o conjunto industrial.

7.^a Serán establecidas las instalaciones de destilación a baja temperatura de los combustibles sólidos que requieran este tratamiento, para que resulten aptos para determinadas aplicaciones económicoindustriales.

8.^a En las centrales hidroeléctricas o térmicas, en que resulte de económico equilibrio, serán absorbidos los excesos de producción, fabricando carburo de calcio, carborundum y otros derivados utilizadores de aquella energía, para su distribución en aplicaciones lumínicas o térmicas o de carácter químico, estimulando tales aplicaciones donde así convenga.

9.^a Para preparar los trabajos de prospección, estudios económicos, propaganda estimulante, instrucciones de empleo y demás funciones racionalizadoras del empleo de los combustibles nacionales, se desarrollará en el Instituto del Combustible una sección económica en que colaboren, con los elementos oficiales, las pertinentes representaciones de los productores de combustibles, los constructores de elementos consumidores de los mismos y los industriales que los aplican.

Fábricas de gas.

10.^a Puesto que las más elementales normas para la utilización racional del carbón aconsejan emplearlo preferentemente en aquellas industrias que revalorizan las cualidades intrínsecas del mismo y trabajan

con la mayor eficiencia térmica y económica, y las fábricas de gas reúnen en el mayor grado estas condiciones, deberían asignarse a las mismas cupos de carbones aptos en la cuantía necesaria para que puedan funcionar a la capacidad máxima para la que están construídas todas las fábricas de gas de España.

11.^a Nuestras cuencas carboníferas producen gran cantidad de menudos aptos para su carbonización en fábricas de gas, que constituyeron siempre la materia prima abundante y apropiada utilizada en las mismas, y para cuya clase de carbón fueron proyectadas y construídas las instalaciones de cámaras verticales discontinuas y continuas existentes en la mayor parte de las fábricas importantes de España.

Actualmente se les asignan cupos de finos de flotación en proporciones altas respecto a los menudos, originándose dificultades y trastornos de importancia en los tipos de hornos ya citados, al verse obligados a funcionar con carbones para los que no fueron concebidos.

Deberá por tanto, reducirse al mínimo posible los cupos de finos y «schlams», y al hacer la distribución de carbones, tener en cuenta los tipos de hornos en que han de emplearse, para que las clases que se les asignen puedan ser utilizadas con la mayor eficiencia y normalidad.

12.^a Por el interés que el suministro de gas tiene para las poblaciones, la importancia del coque producido como combustible doméstico e industrial, el sulfato amónico obtenido como abono nitrogenado y el alquitrán y sus derivados como primeras materias para la industria y, sobre todo, por el carácter de servicio público al que deben atender de forma inexcusable, se debe solicitar se conceda a las fábricas de gas carácter preferente, tanto para el transporte de los carbones que necesitan como para la consecución de los materiales que son necesarios para sus reconstrucciones, modernización y ampliaciones.

13.^a Por su alto poder calorífico, gran rendimiento en su utilización, fácil manejo y fácil comprobación de su calidad y gasto, el gas constituye un combustible de calidad cuyo uso debe tender a fomentarse, por lo que debe recomendarse:

a) La instalación del servicio de gas en todas las edificaciones urbanas de nueva planta de determinada importancia y dentro de ciertos límites.

b) Que se divulgen normas sencillas que de ma-

nera general orienten y enseñen al usuario sobre la forma más racional de utilizar el gas en los usos domésticos e industriales.

c) Que los aparatos de utilización reúnan las condiciones adecuadas para el empleo del combustible gaseoso con buen rendimiento, para lo que es aconsejable el estampillado por Organismo competente de los citados aparatos, garantizando así que se cumplen las condiciones mínimas exigidas para la utilización racional del gas.

14.^a Solicitar que por parte del Gobierno, Diputaciones, Ayuntamientos y Organismos oficiales se facilite no sólo la producción del gas, sino también su distribución en las poblaciones.

15.^a Es preciso tener en cuenta que algunas fábricas de gas pueden estar frenadas en su producción y expansión por cláusulas limitativas en las concesiones, que prácticamente dificultan su marcha ascendente, y conviene recomendar que en estos casos se llegue rápidamente a soluciones jurídicas adecuadas.

Después de intervenciones de varios congresistas y tras las aclaraciones hechas por la Presidencia, sobre algunos extremos de las conclusiones leídas de la Ponencia, son aprobadas, y se levantó la sesión a las veinte horas y diez minutos.

SECCIÓN 2.^a

44 400012

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

(28 de mayo a 3 de junio de 1950)

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 29 DE MAYO DE 1950

Se abre la sesión a las cuatro y veinte de la tarde y se constituye la Mesa con el Ilmo. Sr. D. Antonio Mora Pascual, Ingeniero Industrial, como Presidente; don Ruperto Sanz y Sanz, Ingeniero de Minas, Vicepresidente, y los Sres. Secretarios D. Juan Lizaur Roldán y D. Juan Melgar Escrivá de Romani, Ingenieros de Minas.

El Sr. Presidente, una vez constituida la Mesa, y después de saludar a los reunidos, entra en el orden del día, concediendo la palabra a D. Fernando Merry del Val, el cual da lectura al siguiente trabajo, del que es autor:

N.º 144. - Necesidad de promulgar una ley de hidrocarburos en España

Autor: D. FERNANDO MERRY DEL VAL

Ingeniero de Minas

LA INVESTIGACIÓN DEL PETRÓLEO EN ESPAÑA

Introducción.—De todos los múltiples problemas que atañen a la Economía nacional, uno de los más importantes es el estudio de las posibilidades petrolíferas del subsuelo español.

En la vida de las naciones modernas, prosperidad es sinónima de energía o fuerza abundante y barata, y la experiencia de estos últimos años ha demostrado cuán difícil es incrementar rápidamente la cuantía de las fuentes de energía competidoras del petróleo: el carbón y la electricidad.

En cambio, los países que han tenido la suerte de descubrir yacimientos de hidrocarburos líquidos y gaseosos han visto aumentar sus recursos naturales vertiginosamente, al tener un combustible abundante, barato y fácil de transportar, y que, además, constituye la base, que por días va en aumento, de enorme nú-

mero de industrias químicas y el nervio de todos los transportes modernos por aire, tierra y mar.

En cuanto a España se refiere, el hallazgo de hidrocarburos líquidos y gaseosos daría enorme impulso a nuestra industria, tan necesitada de combustible de calidad a bajo precio, inauguraría una era de prosperidad en la agricultura al impulsar sus motores y suministrarle abonos nitrogenados económicos extraídos de los hidrocarburos gaseosos y resolvería nuestro problema de transportes por ferrocarril, carretera y mar.

La situación económica de nuestro país cambiaría radicalmente al disminuir nuestra importación de petróleo y sus derivados, y aumentar la exportación de los productos de la industria y agricultura vigorizadas y nuestra balanza comercial, tanto años deficitaria, dejaría de serlo.

Hasta el problema de nuestra defensa nacional

petrolífera; antes y después de nuestra guerra de Liberación.

Aunque en los primeros años de nuestro siglo se perforaron algunos pozos con los equipos de sondeo que por entonces existían, no hubo verdadera actividad hasta el período de 1926 a 1930, en que se fundaron varias sociedades y se pidieron gran número de concesiones, pero se perforaron muy pocos pozos.

En la memoria de todos están las dificultades con que tropezaron los países que en la guerra pasada no contaron con petróleo de producción nacional y tuvieron que vivir a expensas de los procesos de síntesis más o menos perfectos de que disponían, ya que los productos petrolíferos obtenidos por ellos necesariamente tenían unas características que no eran las que el motor moderno exige.

A excepción de los sondeos ejecutados por el Estado bajo la dirección del Instituto Geológico y Minero de España, y de algún otro sondeo, todos adolecieron del defecto de que no se hiciesen estudios geológicos previos detallados antes de proceder a la ubicación de los taladros de investigación.

Bosquejada de manera rapidísima la importancia que tiene el problema de la búsqueda de los hidrocarburos en España, veamos los medios que habría de facilitar y aun estimular los trabajos conducentes a este fin, pero antes haremos una breve mención de lo que hasta ahora se ha hecho en España en este sentido.

También hay que advertir que la ciencia geológica, respecto a la investigación, no estaba tan adelantada como hoy en día en ninguna parte del mundo, y menos aún en España, donde la prospección petrolífera no había hecho más que empezar.

Investigaciones petrolíferas efectuadas en España.— Se pueden considerar dos épocas en la investigación

Los sondeos que se hicieron antes del año 1947 fueron los siguientes:

ZONA BÉTICA

Años	Localidad	Prof. aprox.	Resultado
1894	Conil, Cádiz	200 metros.	Seco.
1906	N. Villamartín, Cádiz	100 »	Avería.
1914	S. »	377 »	Indicios petróleo.
1909	Lebrija, Sevilla	166 »	Seco.
1912	» »	100 »	»
1912	Rubi, Utrera, Sevilla	600 »	Indicios.
1933	Ronda, Málaga	380 »	»

ZONA CENTRAL-ESTE

1928	Fuentetoba, Soria	398	»	Niveles betúm.
1936	Chinchilla, Albacete	775	»	Impreg. petróleo.
1936	Torrevieja, Alicante	600	»	Indicios »

ZONA CANTÁBRICA

1900	Huidobro, Burgos	40	»	Avería.
1900	»	501	»	Seco.
1914	Polanco, Santander	530	»	Indicios petróleo.
1915	Salvatierra, Alava	450	»	Seco.
1922	Uzquiano, Burgos	600	»	Agua.
1922	Ozane, Burgos	200	»	Seco.
1922	Cubillo, Burgos	614	»	Avería.
1922	Gastiain, Navarra	1.611	»	Gases.
1923	Elorrio, Vizcaya	750	»	Avería.
1923	»	846	»	Seco.
1923	Aras, Navarra	610	»	»
1923	Jaizquibel, Guipúzcoa	400	»	»
1924	Robredo, Santander	618	»	Avería.
1924	»	1.009	»	Indicios petróleo.
1926	Ajo, Santander	1.200	»	Seco.
1927	Liendo, Santander	120	»	Suspendido.

ZONA CATALANA

1929	Tona-Vich, Barcelona	500	»	Seco.
------	-----------------------------	-----	---	-------

A partir del año 1940 el panorama en España mejoró, y si no tuvo mayor desarrollo fué debido a las circunstancias adversas y dificultades inherentes a la guerra mundial y a la postguerra.

El principal incentivo de esta actividad fué el Decreto de hidrocarburos de 23 de septiembre de 1939, que, con una visión acertada del problema, facilitaba la concesión de permisos de exploración en condiciones más favorables para la industria de la investigación petrolífera que las que hasta entonces existían.

En el año 1940 la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, S. A., comenzó a hacer un examen geológico general de todas las regiones españolas que tuvieran posibilidades petrolíferas. Este estudio se hizo con un equipo de geólogos extranjeros y españoles especialistas en investigaciones petrolíferas, que trabajó ininterrumpidamente desde la fecha señalada hasta ahora, tanto en la prospección como en el estudio detallado de estructuras apropiadas para la acumulación del petróleo.

Por la misma época empezó también la CAMPSA a hacer trabajos de prospección petrolífera, concentrando sus esfuerzos principalmente en la parte septentrional de la provincia de Burgos, donde, además de los trabajos puramente geológicos, perforó varios pozos, de sección reducida de reconocimiento, hasta de cerca de 800 metros de profundidad.

Fuera de la actividad de estas empresas y de los reconocimientos geológicos de zonas petrolíferas efectuados por el Instituto Geológico y Minero de España y por el Instituto Nacional de Industria, nada más se ha hecho en España.

El año 1946 fué decisivo en la investigación, puesto que en aquel año importó la Compañía de Investigación y Explotaciones Petrolíferas, de los Estados Unidos de Norteamérica, el primer equipo de sondeo tipo «Rotary» que ha trabajado en España.

Este tren de sondeo, equipado con todos los perfeccionamientos modernos, es capaz de perforar por el sistema rotatorio hasta la profundidad de 2.500 metros.

En los años 1947 a 1950 se han perforado con este aparato dos sondeos: el primero, en Oliana (Lérida), alcanzó 2.323 metros; el segundo, en Burgo de Osma (Soria), 2.212 metros, con gran diferencia los taladros más profundos efectuados en España.

Aunque ninguno de los dos dió resultados posi-

vos, han servido para desentrañar muchos problemas de la intrincada tectónica de las formaciones geológicas españolas.

En 1949 importó CAMPSA otro tren de sondeo «Rotary» de análoga capacidad que está perforando en Zamanzas (Burgos) a la profundidad de 1.200 metros, sin que se sepa si tendrá buen éxito o no; pero en todo caso aportaría también nuevos conocimientos de las formaciones geológicas.

Vemos, pues, que, por fin, se está investigando las posibilidades petrolíferas de nuestro subsuelo con aparatos modernos y teniendo por base, para la ubicación de los sondeos, trabajos geológicos metódicos efectuados por reputados especialistas.

Pero hay que continuar la exploración, e intensificarla a ser posible, pues tres sondeos no es nada para un país de la extensión de España.

Sin llegar a la actividad de los Estados Unidos, donde en 1949 se perforaron cerca de 40.000 pozos profundos, de los cuales 7.300 pozos de exploración, basta con ver lo que están haciendo los países próximos al nuestro; en Francia tienen unos 20 trenes de sondeo continuamente en operación; en el Norte de África tienen los franceses perforando un número de torres ligeramente menor, y en Italia, a partir de la terminación de la guerra, se han perforado más de 100 pozos.

En todos estos países se han obtenido resultados muy apreciables, pues en Francia han logrado «gasificar» todo el Sur de la nación, construyendo tuberías de distribución de gas desde los pozos productores hasta ciudades tan lejanas como Burdeos, con un recorrido de tuberías «pipe lines» de más de 500 kilómetros. Además, separan la gasolina que contiene los gases, y han logrado tres pozos en un año, con producción comercial de petróleo crudo.

Algo muy parecido ha sucedido en Italia, donde la producción de hidrocarburos gaseosos de los nuevos descubrimientos del valle del Po llevan camino de suministrar combustible barato y abundante a toda la industria y las ciudades del Norte de Italia.

Y no son éstos los hallazgos más espectaculares de Europa, pues hay tres países, Holanda, Austria y Hungría, que hace una década no figuraban en la lista de países productores de petróleo, y hoy en día tienen cada uno una producción similar al consumo total de productos petrolíferos en España.

Esto mismo es a lo que tiene derecho a esperar España. Veamos, pues, de qué modo se podría estimular la prospección petrolífera en nuestro país, pues únicamente multiplicando el número de pozos exploratorios puede esperarse un éxito favorable a corto plazo.

No se olvide que la búsqueda del petróleo es una de las industrias más arriesgadas, y que aun en los Estados Unidos, con su gran tradición petrolera y su enorme técnica, no pasa del 10 % el número de aciertos en los pozos de investigación, y que, como es natural, este porcentaje es aún mucho menor en países poco reconocidos.

No es raro que una sola compañía, como sucedió, por ejemplo, en Egipto, taladre 20 pozos secos seguidos hasta hallar uno productivo comercialmente que reembolsó sus gastos y premió su constancia, ya que fué el principio de un campo petrolífero.

PROTECCIÓN Y ESTÍMULO A LA PROSPECCIÓN PETROLÍFERA

Nos parece acertada la política actual de simultáneas la prospección petrolífera haciéndola el Estado por sus dependencias: Instituto Nacional de Industria, CAMPSA, y las empresas particulares.

Por una parte, el Estado quiere y debe interesarse en este problema, pero debe también cuidar de que la iniciativa privada, que es la que ha transformado el mundo con su vertiginosa prospección y rapidísimo hallazgo de petróleo por casi todo el Universo, tenga acceso a esta fuente de riqueza en circunstancias favorables para su labor.

La experiencia de todos los grandes países productores que han nacionalizado su industria petrolífera o puesto trabas a las empresas privadas no puede ser más decisiva; todos han visto menguada su producción y han retrasado el desarrollo de esta capital industria, y baste con señalar los casos de Méjico, Colombia y la Argentina.

Veamos qué medidas estimamos que impulsarían la exploración petrolífera en España.

Medidas de protección de la exploración.—En la actualidad se ha concedido, en algunos casos especiales, la franquicia aduanera a las instalaciones de sondeo y material de repuesto para los mismos.

Esto debería concederse con carácter general, pero extendiéndolo al impuesto de Usos y Consumos, y

concediendo también la importación temporal de materiales sin limitación de tiempo. Con esto se abarataría el material de perforación, que actualmente cuesta, puesto en España, aproximadamente el doble que en el país productor.

También sería conveniente que se diera preferencia en la concesión de divisas y se aplicase el cambio más favorable a las mismas. Estas facilidades deberían también concederse en la importación de material moderno y técnicos para hacer prospecciones geofísicas y otros estudios similares.

Capital extranjero.—Si se quiere que acuda capital extranjero a vigorizar la exploración, será necesario, sobre todo, al principio de estos trabajos, que encuentre condiciones parecidas a las que existen en casi todos los países.

Es muy lógico que la empresa que desee arriesgar su capital en un asunto tan aleatorio como la investigación petrolífera y que se someta a todas las Leyes nacionales, desee poder poseer una mayoría de sus acciones y poder dirigir y administrar su negocio.

También sería conveniente estímulo, el que, caso de tener buen éxito, se le permitiese exportar parte de los productos obtenidos, para reintegrarse de las divisas empleadas en España.

LEGISLACIÓN DE HIDROCARBUROS

Todas las industrias existentes en España tienen sus Leyes y Reglamentos que regulan su actividad, con la única excepción de la petrolífera, que se rige por la Ley de Minas, sin tener en cuenta que, ni por su esencia ni métodos de exploración y explotación se asemejan estas actividades.

Un criadero mineral está constituido por substancias fijas en la tierra y siempre fáciles de localizar en un corto espacio de terreno; los hidrocarburos son productos móviles en sus yacimientos, cualquiera puede explorar un yacimiento colindante a su concesión; basta para ello perforar un pozo que corte las capas que contienen el petróleo.

Además, las exploraciones e investigaciones petrolíferas han de hacerse en grandes extensiones, con trabajos geológicos y topográficos muy detallados seguidos en muchos casos por reconocimientos geofísicos costosísimos que permitan determinar las estructuras geológicas capaces de almacenar hidrocarburos.

La diferencia radical entre los yacimientos mineros y petrolíferos se vería al descubrirse un campo petrolífero en España y sería necesario dictar disposiciones inmediatamente que regulasen su explotación racional sin dilapidar tan precioso producto, prohibiendo el soltar el gas a la atmósfera imponiendo la obligación de conservar la presión en el yacimiento, regular el espacio entre los taladros, etc., etc., problemas que no están previstos en la minería.

Estas y otras razones han sido causa de que en todos los países con posibilidades petrolíferas se hayan dictado Leyes de Hidrocarburos, que, como veremos más adelante, siempre se han inspirado en el principio de dar las máximas facilidades a la exploración, concediendo permisos por un tiempo bastante largo sobre grandes extensiones de terreno y con un canon o impuesto meramente nominal, que en muchos casos se devuelve al concesionario caso de no tener buen éxito la investigación.

En cambio el Estado, en aquellos países en que se ha encontrado producción de petróleo, cada vez va aumentando los impuestos sobre la producción, que, en términos generales, van desde el 5 al 16 % del producto bruto de las explotaciones, como sucede en Venezuela, donde la mayor parte de los ingresos de la Nación proceden del petróleo. Naturalmente, el que los impuestos sean mayores o menores depende de la riqueza y coste de explotación de los yacimientos.

Paralelamente a esta política, en muchos países obligan a las compañías a refinar una parte de su producción dentro del país, con lo cual dan empleo a muchísimo personal, abaratan los productos petrolíferos en el interior y obtienen más divisas en el exterior por ser más caros los productos exportados. Como ejemplo podemos citar la refinería de La Creole, en la bahía de Amuay, también en Venezuela, inaugurada en enero de 1950, con una capacidad diaria de unas 10.000 Tn. y un costo de instalación de 150 millones de dólares.

Legislación española.—Hasta el año 1939 las investigaciones petrolíferas se hicieron en concesiones mineras que si bien muy caras, cuando la superficie era grande, en cambio no podían caducar más que por falta de pago del canon de superficie, lo cual dejaba al propietario de la concesión un tiempo ilimitado para efectuar la investigación y, en su caso, la explotación del yacimiento combustible.

El 23 de septiembre de 1939 se publicó un Decreto acerca de la Investigación y Explotación de Hidrocarburos líquidos y gaseosos, que sirvió de eficaz estímulo a la prospección petrolífera, pues significaba un avance notable sobre la legislación entonces vigente.

Este Decreto consideraba tres períodos en la tramitación de una concesión, a saber:

- 1.º Exploración por un período máximo de dos años.
- 2.º Investigación y reconocimiento por un período máximo de tres años.
- 3.º Explotación.

En el período de exploración el concesionario tenía que depositar una fianza de cuatro pesetas por hectárea por los dos años de duración del permiso.

Una vez otorgado el Permiso de Investigación, esta fianza se elevaba hasta 12 pesetas por hectárea.

En el caso de que los sondeos de investigación no den resultado, el Estado devolverá la fianza al concesionario. Este Decreto favorecía al investigador, substituyendo el impuesto por una fianza.

Si se encuentra un yacimiento petrolífero, el concesionario del Permiso de Investigación tendrá el derecho a la concesión de Explotación que abarcará hasta la mitad del Permiso de Investigación, quedando el resto a favor del Estado como reserva nacional.

En 7 de mayo de 1942 se publicó otro Decreto modificando el de 23 de septiembre de 1939.

En este segundo Decreto se conservan los tres períodos de la tramitación, pero con la siguiente variación:

- 1.º Permiso de exploración por dos años, prorrogables por otros dos.
- 2.º De investigación y reconocimiento, por un plazo de tres años.
- 3.º De explotación, por espacio de cuarenta años.

Se conserva el mismo sistema de fianza y exención de canon de superficie del Decreto de 1939.

Una modificación de gran importancia, con respecto al Decreto últimamente citado, es que el concesionario de un permiso de exploración tendrá derecho a que se prorrogue su permiso por dos años siempre que ejecute al mismo tiempo sondeos de más de 1.200 metros para el reconocimiento de otros terrenos de la misma zona que se encuentren ya en el período de investigación, y esto hasta un límite de 40.000 hectáreas.

El principio es excelente, pero en la realidad no es

suficientemente amplio ni en el tiempo ni en la superficie.

En la práctica, ninguna compañía se arriesga a explorar un país que no tiene aún producción petrolífera sin poseer varios cientos de miles de hectáreas de permisos de Exploración, que tienen que conservar hasta conocer el resultado de los sondeos.

Ahora hay que tener en cuenta que un tren grande de perforación con el material de sondeos cuesta más de 10.000.000 de pesetas y que se necesita, como mínimo, más de un año para hacer un sondeo de 3.000 metros.

Es, pues, físicamente imposible conservar las zonas de Exploración mientras duren los sondeos con la obligación de sondear en cada zona, y aun entonces se pueden prorrogar los Permisos de Exploración sólo por dos años y únicamente hasta 40.000 hectáreas.

Un ejemplo aclara aún más este argumento. Una compañía que tenga 400.000 hectáreas en diez zonas distintas tendría que simultanear 10 sondeos profundos con un gasto de maquinaria de 100 millones de pesetas y un coste total de la investigación de más de 600 millones, ¿es esto factible?

El Decreto de 1942 dice «que los permisos de exploración e investigación llevarán anejos de exención de toda clase de impuestos, y asimismo de derechos arancelarios de la maquinaria y material cuya importación se precisa».

Los gastos de demarcación de los permisos de explotación son también mínimos; las 30 primeras pertenencias petrolíferas (de 100 hectáreas), a razón de 150 pesetas, y las siguientes, a 100 pesetas.

Ley de Minas vigente.—El 19 de julio de 1944 se publicó la Ley de Minas y el 9 de agosto de 1946 el Reglamento General para el Régimen de la Minería; la Ley deroga el Decreto de Hidrocarburos de 1939 y, por consiguiente, el de 1942.

La Ley de Minas no tiene en cuenta la naturaleza de los hidrocarburos líquidos y gaseosos y le aplica los mismos preceptos que a la minería en general; el resultado es que, a partir de 1944, ninguna nueva empresa solvente se ha atrevido a ocuparse de la explotación petrolífera; únicamente han seguido las que ya se ocupaban de esta actividad.

Veamos los principales inconvenientes de la Ley de Minas.

Ante todo, se suprimen los Permisos de Exploración y sólo se conceden Permisos de Investigación por una duración de tres años, prorrogables por otros tres.

El costo de demarcación de un permiso de 10.000 hectáreas (que como zona de exploración es pequeño) es de 35.000 pesetas y el canon de superficie por tres años, 150.000 pesetas; es decir, que con los gastos oficiales de inspección suman unas 200.000 pesetas.

Una empresa que quisiera explorar 400.000 hectáreas tendría que gastar 8.000.000 de pesetas antes de comenzar sus trabajos; esto es sencillamente prohibitivo.

La Ley de Minas obliga a comenzar la investigación antes de los seis meses después de haber obtenido el Permiso y no podrá interrumpir la investigación.

Esto también es prohibitivo; ¿va una empresa que tiene 10 Permisos de Investigación a importar 10 trenes de sondeos?

Las concesiones de Explotación también tienen elevados derechos de demarcación, sin tener en cuenta si la explotación será reproductiva o no, y además se exige que comience la explotación antes de un año de la concesión y que no se interrumpa ésta, lo cual no siempre puede efectuarse, pues antes de tender tuberías no pueden explotarse muchos yacimientos petrolíferos.

Como resumen de lo expuesto, propone las siguientes

CONCLUSIONES

«Si se quiere intensificar la exploración petrolífera del subsuelo español por empresas privadas, es imprescindible el promulgar una verdadera Ley de Hidrocarburos.»

«Esta Ley debería de inspirarse en los principios de los Decretos de Hidrocarburos de 1939 y 1942, pero modificándolos en el sentido de dar más facilidades a la exploración e investigación, y, en cambio, desde ahora, señalar a la explotación un mayor gravamen que el actual del 3 % del importe del producto bruto a bocamina.»

«Se deberían dar grandes permisos de exploración, por un período de cinco años prorrogables y una fianza no superior a una peseta por hectárea, fijando un tope máximo de, por ejemplo, 500.000 hectáreas por empresa, para evitar los monopolios.»

«Los Permisos de Investigación deberían de tener una fianza también reducida, dos pesetas por hectárea, y un plazo de cinco años, tiempo necesario para hacer varios sondeos en una estructura geológica favorable.»

«Esta Ley debería quedar establecida muy claramente, para que las concesiones de hidrocarburos no se den más que a entidades de completa solvencia técnica y financiera, o sea a aquellos que vayan directamente a hacer estudios para la búsqueda de petróleo, y evitar la posibilidad de que la especulación se interponga entre las concesiones que da el Estado y las entidades que realmente están en condiciones de efectuar los trabajos petrolíferos. Con ello lo que se quiere decir es ver la manera de impedir que cualquier individuo denuncie una concesión que nunca piense en explotar, con perjuicio de una entidad que quisiera investigar ese terreno.»

«La única obligación de una empresa que tuviera varios Permisos de Investigación sería tener siempre un tren de sondeo potente funcionando. Esta obligación se podría extender a más de un tren si hubiese facilidades para importar material de sondeos y así lo exigiese el número y extensión de los Permisos de Investigación.»

«En cuanto a los Permisos de Explotación, sería quizás prematuro el señalar todas las condiciones que habrían de cumplirse para una ordenada y científica explotación de los campos petrolíferos; pero sería muy conveniente que la Ley señalase la posibilidad

de aplicar la Ley de Expropiación forzosa, por causa de utilidad pública, para los derechos de paso de las tuberías de conducción de hidrocarburos líquidos y gaseosos.»

«También creemos que debería huirse lo más posible de sembrar el territorio nacional de reservas para el Estado, que luego se pasan los años y los años sin llevarse a cabo en ellas el menor trabajo, y evitar el dar, con esta clase de procedimientos, la sensación a entidades que están invirtiendo su dinero en esta clase de trabajos, que tantas pérdidas llevan en sí, que sus propias concesiones puedan ser en cualquier momento envueltas por reservas del Estado, que, en definitiva, lo que se consigue con ello es encerrar la actividad privada dentro de estrechos linderos. Entendemos que no es el pago justo de quien invierte con gran riesgo grandes capitales en estos trabajos.»

«En fin, modestamente creemos que es indispensable hacer una Ley de Hidrocarburos similar a la que existe en todos los países con posibilidades petrolíferas, y adaptarla, como es natural, a las circunstancias de nuestro país, y nos consta que en la Dirección General de Minas hay brillantísimos Ingenieros perfectamente capacitados para estudiar y redactar una Ley que satisficiera plenamente los anhelos de los interesados en esta clase de actividades, que desean que rápidamente se intensifique la prospección petrolífera en España, para que con estos trabajos en nuestra Patria procuren aclarar la incógnita de si existe o no petróleo en nuestro territorio nacional.»

Terminada la lectura del trabajo precedente son aceptadas las conclusiones por unanimidad.

A continuación, D. Carlos Eizaguirre da a conocer la siguiente memoria:

N.º 153. - Memoria descriptiva de los planes, proyectos, actividades y estado en que se encuentran las obras de construcción de la Refinería del Valle de Escombreras (Cartagena)

La importancia económica que para la vida de las naciones tiene el disponer de una industria capaz de la preparación de combustibles líquidos y lubricantes, impulsó a los organismos rectores de nuestra economía al montaje de una instalación para la obtención de los mismos a partir del petróleo crudo. Las dificultades originadas por la segunda guerra mundial retrasaron la terminación del proyecto, que pasó por diversas fases, modificadas a medida que el tiempo transcurría.

Encomendada tan importante labor a la Empresa Nacional «Calvo Sotelo» de Combustibles Líquidos y Lubricantes, dependiente totalmente del Instituto Nacional de Industria, se buscó el apoyo técnico de la industria nacional, particularmente el de la entidad propietaria de la única gran Refinería de petróleos existente en nuestro territorio, y se dió comienzo el año 1942 a los primeros trabajos de proyecto y preparación de la construcción en los terrenos adquiridos al objeto en las proximidades de Cartagena.

La elección del Valle de Escombreras como emplazamiento de la Refinería se hizo teniendo en cuenta una serie de factores de capital importancia, y entre los que citaremos: clima benigno, abundancia de mano de obra, puerto de Cartagena relativamente pró-

ximo y de gran interés estratégico, bahía de Escombreras apta para ser convertida en puerto petrolero con relativa facilidad, etc.

En cuanto a la disponibilidad del agua necesaria para la industria, ofrecía ese emplazamiento varias interesantes posibilidades, a saber: agua subálvea del propio Valle; aportación de la Comunidad de los Canales del Taibilla y, finalmente, agua del mar, como último recurso.

La construcción se llevó a cabo entre los años 1942 y 1948, tomando parte muchos suministradores y constructores nacionales, y así, con materiales totalmente españoles, se construyeron todos los tanques metálicos, los estanques de refrigeración de agua, talleres, laboratorios, sección de tratamiento químico de gasolinas y kerosenos, casas de bombas, central de producción de vapor y gran parte de la central eléctrica, y, naturalmente, todos los edificios, entre ellos, los de un poblado para el personal. En esta fase de la construcción la aportación extranjera se redujo a los dos grupos turboalternadores de 1.200 kw., que fueron construidos en Suiza, y a cierta cantidad de tubería de acero sin soldadura que fué adquirida en Alemania.

En junio de 1949 se constituyó la Empresa Mixta

«Refinería de Petróleos de Escombreras», S. A., con la aportación de capital del Instituto Nacional de Industria, la «Caltex Oil Products Company Limited» y la «Compañía Española de Petróleos», S. A., con cuyo personal técnico se llevaban a cabo los trabajos de construcción y montaje de la Refinería.

Entre las circunstancias económicas a que antes se ha aludido, jugó un papel preponderante la consideración del ahorro de divisas extranjeras, especialmente de dólares de U. S. A., que representa la importación en España de petróleo crudo en vez de productos refinados, tenida cuenta de la diferencia de precio entre unos y otros, que compensará en un breve período de tiempo la necesaria inversión en materiales de fabricación extranjera que se precisan para la construcción de la Refinería.

En el caso específico de la Refinería de Escombreras, esta circunstancia de la inversión en divisas se ve favorablemente afectada por la participación de una empresa norteamericana en el capital fundacional de la sociedad propietaria de la Refinería, participación que permite ampliar las instalaciones de refino, como se explica más adelante, mediante la aportación de las divisas necesarias para las adquisiciones de los materiales extranjeros sin sacrificio ninguno de las disponibilidades en dólares de nuestra economía nacional. Esa aportación extranjera es de carácter minoritario dentro de la empresa explotadora de la Refinería.

La nueva empresa aceleró los trabajos con el fin de poner en funcionamiento la primera planta de destilación en dos fases de 5.000 barriles diarios de crudo, junto con sus elementos auxiliares. Al mismo tiempo inició el estudio del proyecto de ampliación que se iba a cometer en dos fases, a saber:

1.^a fase.—Consistente en la instalación de una unidad de destilación a presión atmosférica con una capacidad de carga de 16.500 barriles (unos 2.620 m³), una unidad de refinado térmico de naftas de 6.000 barriles (unos 950 m³) y una unidad para la polimerización de los gases procedentes de la anterior de capacidad de producción de unos 350 barriles diarios (unos 56 m³) de gasolina polímera.

2.^a fase.—Destinada al montaje de las instalaciones para el refino de aceites lubricantes por medio de disolventes.

La Refinería se puso en marcha, en período de prue-

ba, en los primeros días del presente año con los mejores resultados y viene trabajando normalmente cumpliendo con holgura la capacidad prevista.

La primera fase de la ampliación se terminará a finales del año próximo, calculándose que funcionará a fines de 1951.

En cuanto a la segunda fase, se están estudiando ahora las bases del proyecto que se acometerá dentro del presente año.

El autor de esta Memoria ha creído necesaria la breve explicación que antecede, por considerar que con ella podrá el lector orientarse mejor ante el esfuerzo económico y técnico que representa la construcción de la refinería que se describe en estas páginas, la que constituye el objetivo del presente trabajo, con el que se da cuenta al II Congreso Nacional de Ingeniería de la existencia de esta moderna industria en España, así como de los planes de expansión de la misma de un modo inmediato y para un futuro muy próximo.

LA REFINERÍA ACTUAL

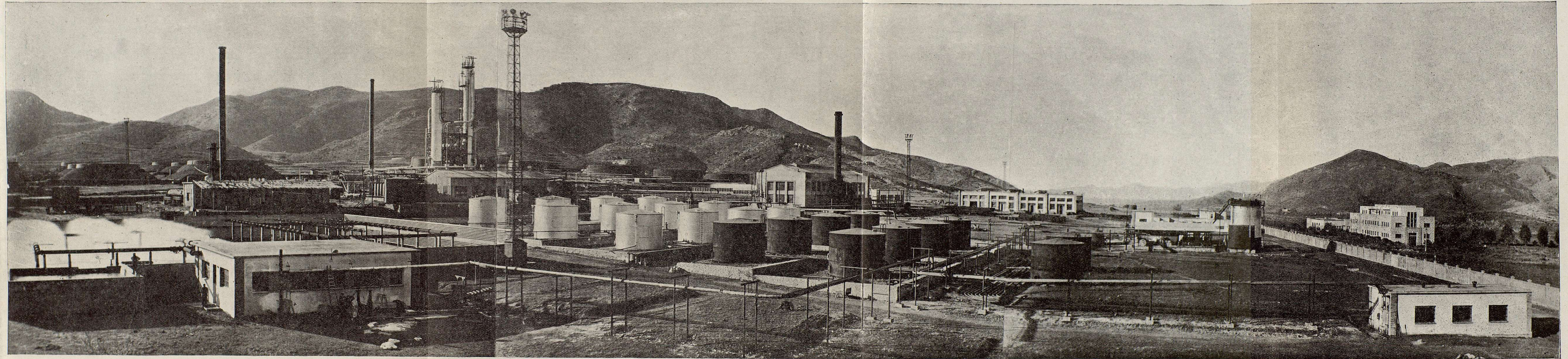
Consta de una unidad de destilación, tratamiento químico para gasolinas y kerosenos, central de vapor y electricidad, laboratorios, tanques de almacenamiento, casas de bombas para carga y descarga de buques y transferencias de productos, sistema de agua de refrigeración, servicios contra incendios, redes eléctricas de vapor y de productos, almacenes, talleres, comedores y oficinas.

Para su personal ha construido, como se ha dicho antes, un poblado con viviendas de diversos tipos, y que cuenta con todos los servicios, escuelas, iglesia, etcétera.

El Ministerio de Obras Públicas está en la actualidad habilitando la dársena de Escombreras para puerto petrolero. A través de él la Refinería recibe ya sus cargamentos de petróleo crudo, que oscilan alrededor de las 250.000 toneladas mensuales, y que embarca otras tantas de productos terminados.

El plan general de la Refinería fué estudiado desde un principio con vistas a la ampliación de la capacidad de tratamiento hasta un millón de toneladas anuales de crudo, y para ello se dividió el terreno por dos grandes calles que corren de Norte a Sur y se cruzan por otras dos calles transversales. Con

VISTA PANORÁMICA DE LA REFINERÍA DEL VALLE DE ESCOMBRERAS (CARTAGENA)





Vista general del poblado, Refinería y Puerto de Escombreras.

esta disposición se dividirá el terreno en nueve patios o cuarteles que permitan emplazar a convenientes distancias y niveles los dos grandes patios de tanques, a saber: el de petróleo crudo y productos negros («fuel-oil» y «gas-oil»), y el de productos acabados blancos, más inflamables (gasolinas y kerosenos).

En la zona central comprendida entre las calles transversales citadas se proyectó el emplazamiento de las grandes unidades de destilación y conversión de hidrocarburos, así como en su proximidad, la central de vapor y electricidad y laboratorio, y se dejaron los cuarteles de la parte baja del terreno para los tanques de clasificación, secciones de refino químico, y servicios complementarios, tales como talleres, almacenes, separador de aceite de las aguas residuales y vestuarios. Por último, se proyectaron y construyeron fuera de las tapias de la refinería, el edificio de oficinas generales y comedores.

A tres kilómetros y medio de distancia está localizado el puerto para atraque de petroleros, el que se ha conectado a la Refinería por una conducción quintuple, y una casa de bombas de auxilio para la descarga. Esta casa de bombas se trasladará en su día al emplazamiento de una estación de recepción de petróleo crudo con capacidad para 48.000 m³, que ya se ha comenzado a construir junto al pueblo de Escombreras, a unos dos kilómetros de la Refinería.

A continuación se da una descripción de las principales instalaciones ya en funcionamiento.

UNIDAD DE DESTILACIÓN DE DOS FASES

En previsión de la futura fabricación de aceites lubricantes, se ha montado una unidad de destilación, en la que se realiza la destilación en dos fases. Esta

unidad, construida según las más modernas innovaciones en la industria del petróleo, fué concebida por los técnicos españoles en sus líneas generales, y éstas se basaron en conseguir la flexibilidad necesaria para destilar una gran variedad de petróleos crudos como los cubiertos por la gama que va desde los de Oriente Medio, tipo Arabia e Irak, hasta los pesados crudos venezolanos del lago de Maracaibo, con lo que se consigue la idea fundamental de permitir a la Refinería la posibilidad de surtirse de primera materia procedente indistintamente del Oriente o del Occidente de España, asegurándola contra el riesgo de aislamiento a que podría verse sometida en caso de conflictos internacionales como el de la última guerra mundial. Actualmente se está destilando en ella crudo procedente del Oriente Medio, concretamente, crudo «ABQAIQ», del Golfo Pérsico.

La carga a la planta de destilación (5.000 barriles diarios) se realiza por medio de bombas alternativas de la misma, que aspiran de los tanques de almacenaje, situados en la parte SO. de la Refinería. El circuito de crudo pasa a través de una serie de recuperadores de calor tubulares en contracorriente con la gasolina, «gas-oil», residuo de la torre atmosférica y residuo de la torre de vacío que se extraen de las columnas de fraccionamiento, según puede verse en el diagrama adjunto n.º 1. Finalmente, el crudo va a un recipiente horizontal cuya misión puede presentar dos aspectos: actuar como recipiente de reposo cuando trabaja con crudos ligeros con objeto de eliminar el agua que lleva consigo sales disueltas, como cloruros, que atacarían la instalación, o bien funcionar como preevaporador cuando carga crudos pesados, evaporando la fracción de cabeza y manteniendo una contrapresión de unos 10 kg./cm² suficiente en la línea a los recuperadores para preservar esta evaporación en los mismos.

El horno es tubular («pipe still»), provisto de seis mecheros, capaces de quemar indistintamente gas o «fuel-oil» y diseñados para la atomización y combustión del combustible con un exceso de aire de un 25 a un 50 por 100.

La atomización se lleva a cabo con vapor. El coeficiente de transmisión de calor en la sección de radiación es del orden de unas 25.000 K calorías por metro cuadrado, trabajando con un rendimiento del 75

por 100 cuando la combustión se realiza con un 40 por 100 de exceso de aire.

El flujo de crudo pasa a través de las secciones de convección y radiación, absorbiendo el calor suficiente para calentarse hasta unos 330° C. y vaporizarse a la salida del horno, alrededor del 56 % en peso de la carga, a una presión de unos 1,5 kgs./cm².

El plato de alimentación de la columna de fraccionamiento a presión normal es el número 5 de los 36 de que consta dicha columna. La misma está constituida por tres piezas de 2,10 m. de diámetro y espesores de 5/8", 1/2" y 1/16", con una longitud total de cerca de 27 metros. Su construcción enteramente soldada da lugar a una pieza única de gran peso (unas 60 tons. incluyendo los platos), que fué levantada y colocada entera por medio de dos plumas construidas en la misma refinería con tubería de 12".

En el interior de esta torre se verifica el proceso de destilación fraccionada en equilibrio ayudada por el vapor de agua que se inyecta en el fondo de la torre y que contribuye a arrastrar las fracciones volátiles del reflujo interno de la sección de «stripping» de esta torre (platos de 1 al 4). Esta misma función la verifica la columna auxiliar «stripper» de cuatro secciones independientes, que somete a una nueva destilación con arrastre de vapor a la gasolina pesada, nafta, keroseno y «gas-oil». Las extracciones de estos productos tienen lugar en los platos 9, 15, 21 y 29 o en sus inmediatos superiores, según la calidad de los productos que se pretendan obtener.

La presión de esta torre es poco superior a la atmosférica. La regulación de la temperatura se verifica mediante la cantidad de reflujo o producto frío de cabeza (gasolina ligera) que se devuelve a la torre por bomba centrífuga movida por turbina de vapor, actuada automáticamente esta regulación por un sistema de potenciómetro del tipo electrónico, que a su vez regula la admisión de vapor a la turbina.

Los productos extraídos de la torre atmosférica van al «stripper», como decíamos anteriormente, y de éste a los recuperadores y refrigerantes y a tanques de clasificación. El residuo de la torre o crudo reducido sufre el «stripping» en esta sección de la columna y se somete luego a una segunda destilación a presión reducida al objeto de preservar de la descom-

posición térmica o «cracking» a los valiosos componentes de los aceites lubricantes. Tiene la ventaja de ser más efectiva por causa de las diferencias más grandes que existen en las presiones de vapor de los componentes a baja presión.

La destilación a baja presión es un proceso muy empleado en el refinado del petróleo, para redestilar las gasolinas de «cracking» después del tratamiento ácido, obtención de «gas-oil» a partir de residuos pesados procedentes del «cracking», fabricación de asfaltos y de aceites lubricantes. A causa de los elevados puntos de ebullición de la materia prima para los aceites lubricantes, el empleo de solamente la destilación al vacío no es suficiente. Para ello se emplea aquí la destilación con arrastre de vapor, en cantidades que dependen del intervalo de ebullición de la carga y de la cantidad vaporizada. La destilación seca, que no utiliza vapor, tiene muchas ventajas técnicas. La más importante entre ellas es que precisa de una torre de diámetro mucho menor y una instalación de condensación más reducida. No obstante, la presión absoluta necesaria para el proceso seco de la mayor parte de los productos de petróleo, debería ser inferior a 1 mm., y este vacío no puede alcanzarse a un costo razonable en una instalación de tipo industrial.

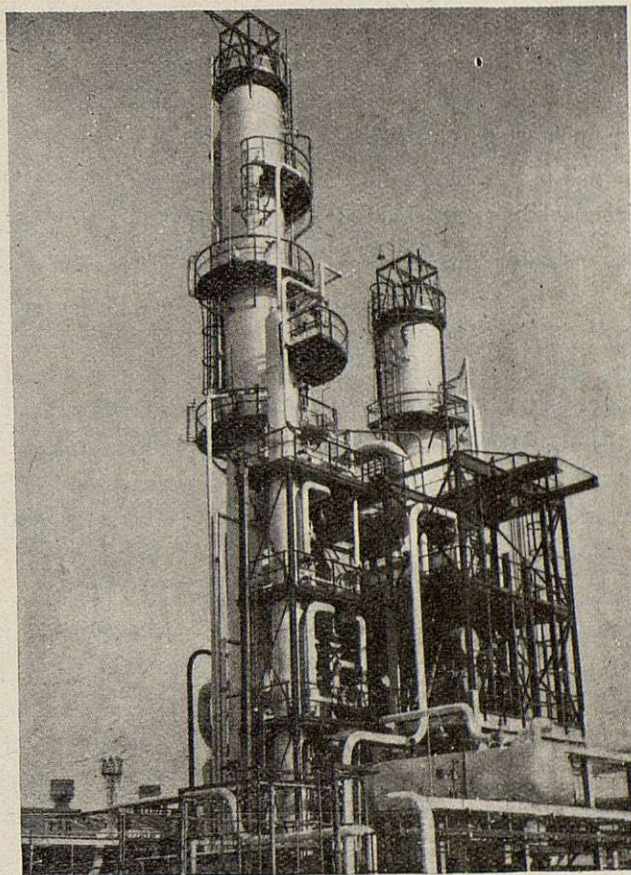
Los gases fijos no condensables son separados del sistema mediante los eyectores que mantienen el vacío en la torre. Por este procedimiento la presión económica más baja que puede obtenerse es alrededor de los 16 mm., siendo las cantidades de vapor y agua de refrigeración muy elevadas. La presión a que suele trabajar la torre de vacío de la Unidad de Dos Fases es alrededor de los 30 mm. de Hg.

El funcionamiento del horno y la torre de vacío es sensiblemente igual a sus correspondientes atmosféricos, si bien en el caso del horno de vacío es menor debido a tener que destilar menos cantidad de producto. Este horno de vacío dispone de cuatro mecheros como los del otro horno, pudiéndose quemar indistintamente gas y «fuel-oil». El crudo reducido se calienta aquí hasta unos 350° C. De la torre de vacío se obtienen un producto de cabeza («gas-oil» pesado), laterales correspondientes a los lubricantes ligero, medio y pesado y «slop» y un producto de cola o residuo de vacío.

Los cortes correspondientes a los aceites lubricantes no se utilizan como tales por ahora mientras no

se disponga de las plantas de tratamiento de los mismos que constituirán la segunda fase de la ampliación de la Refinería. Sin embargo, esta segunda destilación al vacío permite hacer una selección de los componentes del residuo de la destilación atmosférica, para ajustar más exactamente las características de los «fuel-oils» y «gas-oils» obtenidos, especialmente por lo que se refiere a su punto de congelación, sepa-

REFINERÍA DE PETRÓLEOS DE ESCOMBRERAS



Unidad de Destilación de Dos Fases.

rándose además los más congelables para ser utilizados como combustibles en la misma Refinería.

La Unidad posee una amplia red de aparatos de mando a distancia según los más modernos dispositivos en esta especialidad.

Las entradas y salidas de los hornos, recuperadores, cabeza de las torres y otros puntos principales tienen instalados pares termoelectricos cuyas temperaturas pueden leerse en el cuadro de la sala de man-

dos de la Unidad. Los principales aparatos son registradores, entre los cuales se cuenta un buen número de potenciómetros de diversos tipos. Los medidores de caudal, niveles, manómetros y termómetros completan el sistema de vigilancia que permiten un extraordinario ajuste en las condiciones de trabajo y un gran ahorro de mano de obra, ya que toda esta unidad se maneja por sólo tres hombres.

Los efectos de la corrosión debida al ácido sulfhídrico, clorhídrico, etc., presentes en el crudo o formados durante el proceso de destilación, se combaten mediante la inyección de amoníaco gas en la línea de salida de gasolina ligera manteniendo el pH del agua procedente de la condensación del vapor en el recipiente de reflujo, en la región neutra.

Las características de las principales partes de esta instalación se señalan en la tabla núm. 1. También presentamos la fotografía de esta Unidad.

TABLA I

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA UNIDAD DE DESTILACIÓN DE DOS FASES

Capacidad de refino	5.000 bls/día. 793 m ³ /día.
Número de bombas	25
Número de recuperadores y refrigerantes ...	21
Compresores de aire	1
Superficie total de la planta en m ²	230

PRINCIPALES RECIPIENTES

	Torre atmosférica	Torre de vacío	«Strippers»	Preeva- porador
Diámetro en m.	2.1	2.4	0.9	1.8
Altura en m.	30	21.45	21.15	7.0
Número de platos... ..	36	26	4	—
Peso sin los platos, toneladas	36	29	9.5	9

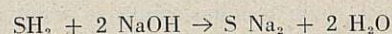
TRATAMIENTO QUÍMICO DE LAS GASOLINAS Y EL KEROSENO

La gasolina y el keroseno, procedentes de la Unidad de Destilación, no pueden ser empleados sin previo tratamiento químico. El objeto del mismo es transformar los compuestos ácidos de azufre, como el ácido sulfhídrico y los mercaptanos muy corrosivos,

de mal olor y que dan mal color a la gasolina, en otros compuestos que no presenten estos inconvenientes. Se conocen varios sistemas de tratamiento, y la elección del tipo adecuado para una refinería dependerá en general de razones económicas y de la disponibilidad de los productos empleados en el proceso que se elija, además de la variación que experimentan algunas de las características de las gasolinas, como su número de octano y su sensibilidad a la acción del plomo tetraetilo.

El proceso empleado en Escombreras es el clásico «Doctor», con una capacidad de proyecto de 40 m³/hora. Se lleva a cabo con agua, hidróxido sódico, plumbito y azufre. Diagrama n.º 2.

El tratamiento con agua tiene por misión eliminar el SH₂. El lavado con sosa completa la acción del agua, en virtud de la reacción de neutralización:



El S Na₂ es soluble en agua y por tanto queda el azufre eliminado de la gasolina al ser esta reacción completa.

Los mercaptanos reaccionan con la sosa para dar mercaptida de sodio,



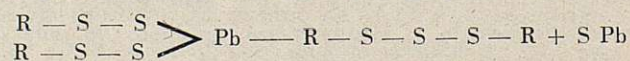
La reacción no es completa debido a la hidrólisis de la mercaptida de sodio que desplaza el equilibrio hacia la izquierda. La reversibilidad de esta reacción disminuye al aumentar el número de carbonos de la mercaptida.

La transformación de los mercaptanos en disulfuros se lleva a cabo mediante el tratamiento «Doctor» con PbO₂Na₂ y S, según las siguientes reacciones generales:

- 1). $2 \text{R} - \text{SH} + \text{PbO}_2\text{Na}_2 \rightarrow (\text{RS})_2\text{Pb} + 2 \text{Na OH}$
- 2). $(\text{RS})_2\text{Pb} + \text{S} \rightarrow \text{SPb} + \text{R S} - \text{S R}$

Otras reacciones secundarias tienen lugar en el sentido de formar mercaptidas básicas que luego reaccionan con mercaptanos para dar las mercaptidas neutras.

Estos compuestos pueden dar lugar a la formación de polisulfuros de acuerdo con la siguiente reacción:

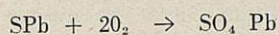


También parece se forman compuestos de adición de las mercaptidas con el azufre.

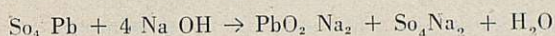
El objeto del tratamiento químico «Doctor» es llegar a la reacción (2) con la formación del disulfuro compuesto neutro inodoro y no corrosivo. El porcentaje de azufre, de acuerdo con esta reacción, no ha variado con el tratamiento.

La instalación consta de una batería de seis botellas o recipientes de acero, para trabajar hasta 7 kgs./cm² de presión en frío, entre los que se intercalan los mezcladores de los reactivos. El sistema es de marcha continua y las bombas de carga son de tipo centrífugo con motor eléctrico. La instalación se maneja automáticamente mediante medidores-reguladores de caudal con mando a distancia.

Es de especial interés la transformación del S Pb, producto final de la reacción, en Pb O₂ Na₂ y a tal efecto se han ideado varios procedimientos. El que se está instalando actualmente en la Refinería se basa en la oxidación en corriente de aire de la disolución de reactivo gastado que tiene el S Pb en suspensión y que lo transforma en sulfato de plomo.



El sulfato de plomo se transforma en contacto con un exceso de sosa en plumbito.



A la vista de esta última reacción podría deducirse que la recuperación se verifica totalmente y de un modo indefinido con tal de añadir la sosa que se pierde en forma de sulfato sódico. En las gasolinas procedentes de una destilación a presión normal (sin «cracking»), con un porcentaje elevado de ácidos orgánicos o fenoles, la regeneración se hace difícil debido a los jabones que se forman.

TRATAMIENTO QUÍMICO DEL KEROSENO

El proceso de tratamiento químico del keroseno seguido en refinería se basa en las mismas reacciones que el de la gasolina, si bien el objeto es algo diferente. El fin que se persigue en el mismo es darle buen color, estabilidad, eliminar los compuestos ácidos de azufre, eliminar en lo posible aquellos hidrocarburos que al arder producen humos con facilidad y rebajar el porcentaje de azufre. Este tratamiento suele completarse por un posterior tratamiento con tierras decolorantes que por absorción purifican el

producto de las materias alquitranosas y resinosas mejorando el color.

Las tierras decolorantes son, en general, hidrosilicatos de aluminio, en los que las proporciones de SiO₂ y Al₂ O₃ varían grandemente de unos a otros. El gran poder absorbente de estos compuestos parece puede explicarse por el gran número de canalículos que poseen sus estructuras y que aumentan enormemente la superficie de los gránulos.

Esta acción absorbente se ejerce sobre los compuestos de azufre y nitrógeno y sobre los hidrocarburos no saturados.

El tratamiento químico del keroseno en refinería se lleva a cabo en un proceso discontinuo, mediante un agitador de fondo cónico capaz de tratar unos 150 m³ en cada operación. Esta instalación puede también utilizarse para un tratamiento con ácido sulfúrico. Este tratamiento puede substituirse por un «sweetening» si el keroseno que se ha de tratar es muy ligero, como acontece en nuestro caso.

El conjunto del tratamiento químico dispone de los elementos necesarios para la preparación de los productos que se emplean en el proceso, aparatos de comprobación, bombas, tanques de almacenaje de ácido, montaácidos, filtro prensa para el tratamiento con tierras, etc.

LABORATORIO

Su misión es la de comprobación rigurosa del proceso de fabricación, no solamente en lo que se refiere a la calidad de los productos obtenidos en la destilación y a la marcha del tratamiento químico, sino también de las condiciones de trabajo de otros sistemas de la fábrica y que son de capital importancia para la buena marcha de la misma, como análisis de agua de refrigeración, depuración del agua de alimentación de las calderas, combustión en los hornos, corrosión de las diversas instalaciones, etc., etc.

No obstante, el trabajo principal del Laboratorio se refiere a los ensayos de los productos de importación (exclusivamente petróleo crudo), vigilancia de la Unidad de Destilación y Tratamiento Químico y ensayos de los cargamentos de productos terminados. Las dificultades derivadas de la falta de relación que en la mayoría de los casos existe entre los resultados obtenidos en estos ensayos y el comportamiento

práctico de los productos, así como el avance gradual en la técnica, orientada al conocimiento y determinación de aquellas propiedades que deben tener los productos para que sean aptos para el fin a que se les va a aplicar, han hecho que estos ensayos se hayan fijado como *standard* en el mundo del petróleo y estén sujetos a revisiones periódicas al objeto de que sus resultados nos orienten respecto al comportamiento real del producto de que se trata.

El Laboratorio de Escombreras ha sido provisto de todos los elementos y aparatos necesarios para realizar todas estas comprobaciones, y está instalado en un edificio de traza moderna y muy bien acondicionado; la disposición general del mismo se basa en dos grandes salas, separadas, una dedicada a los ensayos rutinarios de marcha de la fabricación, y otra a estudios e investigaciones. Además se dispone de un cuarto especialmente preparado para determinaciones de puntos de inflamabilidad, un cuarto para balanzas de precisión, una cámara oscura y todas las dependencias necesarias, así como una sala biblioteca. En la actualidad se prepara la construcción de un cuerpo anexo e independiente, en el que se instalarán las máquinas de determinación de índices de octano y cetano, sin molestia para los otros trabajos del Laboratorio.

CENTRAL DE VAPOR Y ELECTRICIDAD

La Refinería cuenta con una central térmica que dispone como elemento primordial de tres calderas, las cuales proporcionan el vapor de 12 kgs./cm² de presión que se utiliza como fuente primaria de energía. Este vapor se expansiona en las máquinas y bombas de la Refinería, y se transforma en vapor de baja y energía eléctrica. El vapor de baja todavía tiene aplicaciones en las inyecciones a las torres de destilación y para calefacción de tanques y locales, eyectores de la unidad de destilación, atomización de «fuel-oil», de los quemadores, etc.

La central está situada en lo que podríamos llamar centro de gravedad de la Refinería y consta de las siguientes partes principales:

Calderas e instalaciones accesorias.

Conductos de humos y chimeneas.

Instalación de depuración del agua de alimentación.

Grupos-turboalternadores y elementos accesorios.

Cuadros y elementos de distribución de la energía eléctrica.

Sistema de refrigeración del agua de los condensadores.

Compresores de aire.

La instalación está constituida por tres calderas «Babcock & Wilcox» de 10.000 kgs./hora de vapor y 496 m² de superficie, y puede actuar en régimen de sobrecarga a capacidad de 12.000 kgs./hora durante dos horas. Las necesidades actuales de refinería permiten tener una de ellas de reserva. El vapor producido tiene una presión de 12 kgs./cm² y temperatura de 210° C.

Su vaporización específica no es superior a 25 kgs./m² y el exceso de aire no llega al 40 % en condiciones de tiro forzado y chimenea única para las tres.

Como elementos auxiliares tiene los recalentadores, aparatos de alarma, reguladores de alimentación y sopladores de hollín.

Los conductos de humos son subterráneos, dispuestos en la parte posterior de las calderas y debajo de las mismas. Van revestidos de chapa metálica hasta su entronque con la base de la chimenea. Ésta es metálica, remachada, de 26 m. de altura y 1,98 de diámetro, cilíndrica, con arranque troncocónico en su parte inferior.

El sistema de depuración de agua permite rectificar la dureza del agua de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y de los pozos propios, suministrándola a las calderas con una dureza del orden de 0,1 — 0,2 grados hidrotimétricos. La capacidad de esta planta es de 20 m³/hora cuando se ponga en marcha la tercera caldera.

El proceso consiste en el tratamiento con CaO que elimina el Co₂ libre y combinado como CO₃ = y que constituye la dureza temporal; mediante un permutador de bases, la resina «Wofatit» se convierten las sales cálcicas y magnésicas incrustantes en sales sódicas no incrustantes; por mediación de un desgasificador se expulsa el oxígeno disuelto y, finalmente, el fosfato trisódico se apodera de las últimas trazas de calcio al formar fosfato cálcico, que se precipita en copos no cristalizantes y se expulsan con la purga de las calderas. No son de temer las incrustaciones si al regular dicha purga se procura que la

concentración de sales solubles no sobrepase un valor conveniente, que puede llegar hasta 7 grs./l. En la práctica se opera entre 1 y 2 grs./l.

La planta eléctrica consta de dos pisos separados entre sí por un forjado de hormigón. El superior constituye la sala de alternadores y turbo-grupos, el cuadro de mando de generadores y redes. El piso inferior o sala de condensadores aloja todos los grupos motor bomba auxiliares, trompas de vacío, refrigerantes de aceite y compresores de aire.

Las turbinas, en número de dos, son, al igual que alternadores y demás elementos eléctricos, fabricados por la casa Brown Boveri, y pueden trabajar con vapor vivo o de escape. La potencia medida en las bornas del alternador es de 1.000/1.200 kws., consumiendo 7.900/9.500 kgs./hora de vapor de baja; van provistas de regulación automática para consumir vapor de alta presión al escasear o reducirse la presión del de baja por debajo de cierto límite. Su velocidad es de 3.000 r. p. m. Tiene regulador automático de velocidad y dispositivo de seguridad.

Las características principales de los alternadores son:

Potencia en servicio permanente...	1.200 Kws.
Potencia bajo cos φ (0.8)...	1.500 KVA.
Tensión de bornas...	550 V.
Frecuencia ...	50 H z
Velocidad...	3.000 rpm.

Están dotados de excitatriz y reóstatos de campo.

La de cada turbina tiene su condensador constituido por un haz de tubos de latón, mandrilados por sus extremos a dos cabezales de hierro forjado. Para asegurar el vacío normal a que debe operar la turbina se precisa un caudal de agua de 548 m³/hora a la temperatura máxima de 30° C. experimentando un calentamiento de 10° C.

Los turboalternadores van montados sobre fundaciones independientes aislados del edificio para reducir las vibraciones. La sala tiene espacio suficiente para montar allí un tercer grupo semejante a los instalados.

Para la eliminación de la pequeña cantidad de aire que el vapor lleva consigo disponen de un eyector de vapor y otro de agua.

El agua de refrigeración, una vez caliente, se pulveriza en una instalación adecuada, constituida por una serie de boquillas a las que llegan con unos 0,5 kilogramos/m² de presión. El agua pulverizada cae

en el estanque situado debajo de boquillas, del cual es aspirado nuevamente ya enfriada, iniciándose otra vez el ciclo descrito.

La central posee dos compresores monocilíndricos horizontales con ciclo de compresión en dos fases «compound», movidos por motor eléctrico. Las capacidades son de 6,1 m³/m. y 11,15 m³/m., siendo el consumo previsto en la Refinería de 17.000 lts./mm. a 7 atm. de presión.

Van movidos por motores eléctricos de 55 C. V. y 1.460 rpm. y 100 C. V. y 970 rpm., y llevan dispositivos automáticos de regulación de presión y los correspondientes recipientes de aire comprimido.

ESTACIONES DE BOMBEO

Las instalaciones de bombeo en refinería se reducen a las siguientes:

Bombas de transferencias de productos.

Bombas de carga de buques.

Bombas de descarga de buques.

Bombas de transferencias

El edificio se ha previsto para albergar ocho bombas. Actualmente hay instaladas seis, cuya misión es:

1. Bombeo de productos sucios.

2. Bombeo de gasolina ligera.

1. Bombeo de gasolina pesada.

1. Bombeo de keroseno.

1. Bombeo de «gas-oil».

1. Bombeo de keroseno y «gas-oil» y que servirá de reserva a los dos anteriores.

Todas estas bombas, de construcción nacional, son bombas alternativas de 190 × 152 × 254 mm., su capacidad de 40 m³/hora, tipo horizontal «Duplex» de vapor y para una presión de descarga de 14 kgs./cm².

Las bombas, según el producto a que están destinadas, son conectadas por su aspiración a las tuberías de salida de los tanques que los almacenen, en los de clasificación o intermedios. Asimismo, la impulsión de las bombas se efectúa hacia tuberías que conducen: al tratamiento químico y a tanques intermedios (para gasolina y keroseno), a los tanques de productos acabados para el «gas-oil» y a los tanques de crudo para los productos sucios.

Para la carga de buques se ha instalado una esta-

ción de bombeo de cuatro bombas de construcción nacional: dos destinadas a la carga de productos blancos (gasolina y keroseno, y los otros dos productos negros, «gas-oil» y «fuel-oil»). La capacidad de estas últimas es de 250 m³/hora empleando una sola tubería de descarga y doble de 500 m³/hora cuando puede descargarse además por la tubería de crudo; sus dimensiones son 18 × 14 × 18 pulgadas; su presión de descargo unos 11 kgs./cm².

Las de gasolina y keroseno son también «Duplex» de 10 × 10 $\frac{1}{4}$ × 12 y velocidades normales de carga de 200 m³/hora.

La estación de bombeo para descarga de buques dispone de tres bombas «Triplex» verticales con propulsión eléctrica, patente norteamericana y de fabricación nacional. Su capacidad es de 120 m³/hora con una presión máxima de 10 kgs./cm², llegando con la suma de las tres a los 360 m³/hora.

INSTALACIONES DE ALMACENAJE

La Refinería dispone de una instalación de almacenaje de petróleo crudo y productos de fabricación

TABLA II

CAPACIDAD DE ALMACENAJE DE LA REFINERÍA DE ESCOMBRERAS

Producto	Número de tanques	Capacidad nominal m ³ tanques	Capacidad total m ³
Crudo	5	8.800	44.000
Gasolina	2	130	260
Idem... ..	3	1.250	3.750
Idem... ..	4	3.500	14.000
Keroseno	3	130	390
Idem... ..	1	1.250	1.250
Idem... ..	1	3.500	3.500
«Gas-oil»	3	130	390
Idem... ..	1	6.500	6.500
Idem... ..	1	3.500	3.500
Lubricantes	3	1.250	3.750
«Fuel-oil»	3	8.800	26.400
Sucios y productos para mezclas... ..	5	1.250	6.250
TOTAL			113.940

de alrededor de 115.000 m³ de capacidad. Su detalle puede verse en la Tabla II. Según su contenido se dividen en:

Tanques de crudo y «fuel-oil».

Tanques de clasificación.

Tanques intermedios de fabricación.

Tanques de productos terminados.

La disposición de estos tanques es prácticamente la misma. Los tanques de «fuel-oil» están dotados de serpentín de calefacción, con el fin de mantener el producto a una temperatura no inferior a 40° C.

La forma de todos es cilíndrica con techo cónico fijo soportado por un sistema de vigas y columnas metálicas. Además, todos los tanques de mayor capacidad están dotados de tubo móvil en la entrada y salida de los productos, lo que permite una fácil, rápida y segura maniobra de los productos almacenados.

De acuerdo con las normas generales que se siguen en estas instalaciones, cada tanque va emplazado en el interior de un cubeto formado por caballetes de tierra o muros de mampostería, destinados a recoger el líquido que pueda derramarse en caso de accidente en la instalación. Pero, además, por razones estratégicas, aparte de estos tanques, se les ha construido una protección especial de carácter militar estudiada y proyectada por los técnicos españoles, de modo que quedan los tanques semienterrados y envueltos por fuertes muros de mampostería y éstos recubiertos por las tierras obtenidas de la propia excavación.

Los tanques en general disponen de los siguientes accesorios:

Tubos móviles.

Torno y poleas, guía para cable.

Válvulas de respiración.

Entradas de espuma.

Bocas de medida.

Bocas de registro.

Acoples de entrada y salida.

Acople de purga.

Tuberías y válvulas.

AMPLIACIÓN DE LA REFINERÍA

Durante el verano del pasado año 1949 se comenzó el estudio de las instalaciones que han de compo-

ner la primera parte de la ampliación de la Refinería.

Los técnicos españoles de la Empresa, con la colaboración de especialistas americanos de la Caltex, establecieron las bases de dicho estudio, que iban orientadas hacia la consecución de dos fines principales: incremento de la capacidad de refino hasta un millón de toneladas de petróleo crudo anuales y producción de gasolina de turismo de N. O. 65 o superior. El primer fin se alcanzará con la nueva unidad de destilación de 16.500 barriles, y el segundo, con la instalación de una columna de redestilación (Re-run) en la anterior unidad con la plantas de reformado de gasolinas pesadas y naftas y la de polimerización de los gases procedentes del reformado.

La cuestión primordial que hay que resolver reside en el exceso de keroseno contenido en los crudos de Arabia que han de destilarse, el bajo índice de octano de la gasolina de dicho crudo y los altos puntos de congelación de su fracción pesada. En cambio, el keroseno obtenido será de excelente calidad, como asimismo los «gas-oils» y «diesel-oils»; en cuanto a los lubricantes serán también de buena calidad, pudiéndose conseguir unos «Índices de Viscosidad» muy altos. Para mejorar la calidad de la gasolina y del «fuel-oil», se pensó desde el principio en proyectar la nueva unidad de crudo en forma que pudiera tratar crudos americanos de base asfáltica; productos que mejorarían grandemente por mezcla la cantidad de los de Arabia. Pero además se proyectó dotar a la Refinería de la unidad de Reformado, que tendría la ventaja de incrementar el índice de octano del conjunto de gasolina de la Refinería, y con los residuos del reformado mejorar la fluidez de los «fuel-oils» pesados. Por otra parte, esta unidad se estudió con capacidad suficiente para tratar naftas pesadas hasta 235° C. de final de destilación, con objeto de reducir el exceso de keroseno y balancear la producción de éste con las necesidades del mercado español.

A continuación se resume la producción que se obtendrá de la Refinería de Escombreras, al terminarse la primera parte de la ampliación a fines del año 1951:

Carga anual de crudo	975.000
Producción gasolina	267.400
Idem keroseno	15.000
Idem «gas-oil»	300.000
Idem «fuel-oil»	392.600

La importancia de este plan y sus consecuencias económicas para nuestra patria parecen tan evidentes que no precisan ser comentadas en este estudio.

A continuación se da una breve descripción de estas instalaciones nuevas, que ya se encuentran en período avanzado de construcción, habiéndose resuelto su financiación y ultimado la contratación con las firmas especializadas que han de intervenir en esta obra.

UNIDAD DE DESTILACIÓN A PRESIÓN ATMOSFÉRICA DE 16.500 BARRILES

Su funcionamiento es igual al de la sección atmosférica de la unidad de dos fases, pero poseyendo además una columna de redestilación que permitirá la separación de la fracción pesada de la gasolina obtenida en la torre principal, y una columna de estabilización a una tensión de vapor determinada. La nueva unidad, al igual que la de dos fases, está diseñada para destilar crudos de cualquier naturaleza y características muy variadas.

El diagrama adjunto n.º 3 describe la marcha de la carga y productos a través de las distintas líneas, recipientes y recuperadores de calor. Las características principales de las columnas de fraccionamiento se indican a continuación:

	Torre atmosférica	« tripper »	Columna de redestilación	Columna estabilizadora
Diámetro	3,6 m.	1,05 m.	2,4 m.	1,8 m.
Altura	26,0	12,30	15,06	20,0
N.º de platos.	34	12	24	24
Espesores ...	3/8"; 1/2"; 5/8"; 3/4";	3/8"0,394	5/8"	1/2"; 5/8"
Presión de trabajo en kgs/cm²...	1,5	1	3,5	11,5

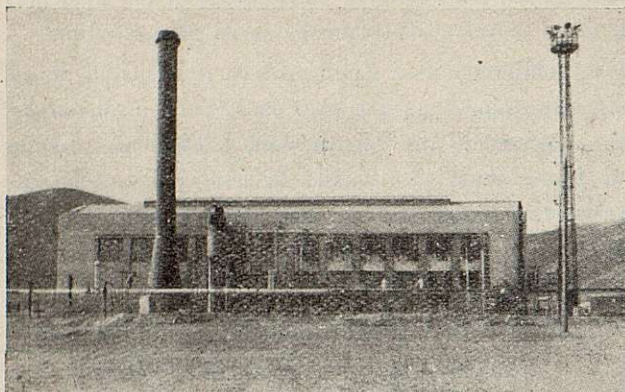
El horno de esta planta está proyectado para proporcionar al crudo precalentado en los recuperadores de calor la cantidad de calor suficiente para la destilación. Las principales condiciones de proyecto del mismo se expresan a continuación:

Carga, 16.500 barriles diarios.
Densidad, 0,8408.

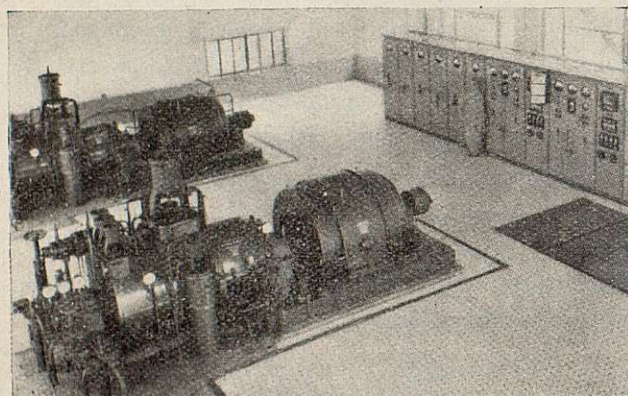
Temperaturas:

Entrada, 184° C.
Salida, 363° C.
Vaporización a la salida % en peso, 67.
Cantidad de vapor recalentado en Kgs./hora, 2.690.

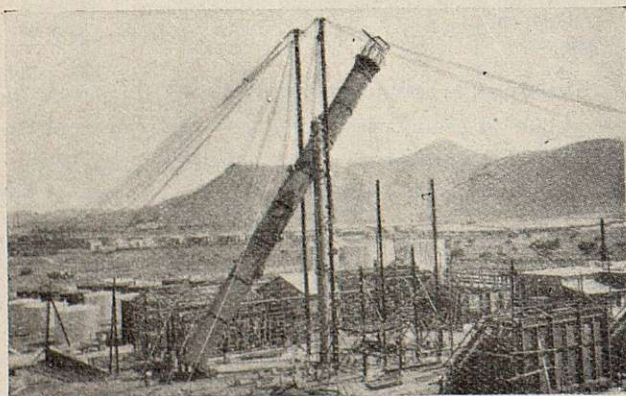
REFINERÍA DE PETRÓLEOS DE ESCOMBRERAS



Central de vapor y electricidad.



Sala de turbinas.



Erección de una torre de destilación.

Cantidad de calor absorbido por el aceite K. cal/hr.,
14.000.000.
Por el vapor, 280.000.
Absorción total, 14.280.000.
Eficiencia, 77 %.
Total calor suministrado por los mecheros, 18.600.000.

El horno está dividido en dos secciones de radiación de convección. Las principales características de los tubos de cada una de ellas son las siguientes:

1.—Sección de radiación:

a) Diámetro exterior	7"	6"
b) Número de tubos	34	34
c) Longitud total m.	12	12
d) Superficie de calefacción en m ² ...	223	192
e) Superficie total m ²	415	
f) Material... ..	{ Acero al carbono. Acero aleado.	

2.—Sección de convección:

	Tubería de aceite	Tubería del recalentador de vapor
a) Diámetro exterior	5"	2"
b) Número de tubos	96	52
c) Longitud total m.	12	12
d) Superficie de calefacción en m ² ...	470	97
e) Superficie total m ²	567	
f) Material	Acero al carbono.	

En la torre de fraccionamiento principal se obtendrán los siguientes cortes:

Producto de cabeza — gasolina ligera con FD entre 125° C y 170° C.
1.^a Extracción lateral — gasolina pesada o nafta o keroseno ligero.
2.^a Extracción lateral — keroseno ligero o pesado.
3.^a Extracción lateral — «gas-oil» ligero o pesado.
Producto de fondo — de 34 a 75 % de residuo para mezcla al «fuel-oil».

Como se ve, la elasticidad de funcionamiento de esta torre es grandísima.

La gasolina se somete a redestilación con el fin de separar su fracción pesada (de bajo número de octano) y que, juntamente con su homóloga de la unidad de dos fases, se somete a reformado térmico.

La unidad posee un total de 20 bombas centrífugas, de las cuales, 15 están movidas por motor eléctrico y el resto por turbinas de vapor.

UNIDAD DE REFORMADO TÉRMICO

En general deberá practicarse el reformado en una refinería para dar salida a las gasolinas naturales o naftas de bajo número de octano obtenidas en la des-

tilación a la presión atmosférica del petróleo crudo. La gasolina natural tiene un número de octano algo inferior a 50, la de «cracking» alrededor de 70 y la gasolina para el mercado debe de alcanzar los 65. En consecuencia, se impone el reformado, la polimerización y el empleo del plomo tetraetilo.

La unidad de reformado, según bases técnicas de la «Universal Oil Products», cuyo diagrama n.º 4 se adjunta, que se va a instalar en Escombreras, permitirá producir una gasolina mezcla de 65 octanos, y tiene además en cuenta la cantidad de gasolina (unos 350 barriles diarios) que se obtendrá por polimerización.

Las partes más importantes de la instalación son las siguientes:

Horno.

Indudablemente, la parte más delicada de la unidad es tipo UOP de dos células, encendido por el techo con tiro vertical descendente y de las siguientes características:

Capacidad de carga, 6.000 bls/día.
Presión de salida, 52 kgs/cm².
Temperatura de salida, 552° C.
Temperatura de entrada, 166° C.
Calor total a absorber por la carga, 11.420.000 K. cal/hr.

Las características de los tubos son las siguientes:

Sección	N.º	D. ext.	D. int.	Material	
Convección ...	50	3-1/4"	2-1/2"	2-1/4 % Cr.	1 % M.
Shock... ..	6	3-1/4"	2.30"	íd.	íd.
Cell	36	3-1/4"	2.30"	íd.	íd.

El horno llevará dos circuitos de petróleo separados a la entrada, y que vuelven a reunirse a la salida; cada uno consta de dos secciones, la primera destinada a la elevación de temperatura hasta la temperatura de «cracking», y la segunda destinada a mantenerla el tiempo necesario para que tenga lugar la reacción. La presión del horno se rebaja en una válvula reductora a la salida del horno, inyectándose además una corriente de aceite frío que al bajar la temperatura de la mezcla para en el acto la reacción de «cracking», la que de este modo se puede regular con toda exactitud en los tubos del horno.

Los quemadores de gas de éste se regulan a distancia automáticamente, para mantener las temperaturas deseadas en cuatro puntos escogidos del circuito interior del horno.

Torre de fraccionamiento.

Tiene por misión separar, de la gasolina procedente del reformado, el residuo pesado. Sus dimensiones serán:

Diámetro	7'-0"
Altura	46'-0"
Espesores	15/16"

La torre llevará forro de aleación para protección anticorrosiva y diez platos de fraccionamiento también de material anticorrosivo.

Torres de Gray.

Los vapores de gasolina sufren la acción catalítica de la arcilla de estas torres. Durante este proceso tiene lugar una polimerización de los compuestos formadores de gomas y que dan mal color a la gasolina. La torre para la separación del polímero permite recuperar parte de gasolina de aquél.

Sistema de estabilización.

Lo constituyen dos torres que actúan por separado: la columna de desbutanización y la de desetanización destinadas a descabezar la gasolina reformada separando los hidrocarburos en cuestión, al objeto de dar al producto terminado la tensión de vapor exigida por las especificaciones.

UNIDAD DE POLIMERIZACIÓN

Tiene por objeto la conversión en gasolina de los gases procedentes del reformado. La polimerización tiene lugar empleando ácido fosfórico como catalizador. El proceso elegido es el CRC (California Research Corporation). Trabajando la unidad de reformado en condiciones normales se ha estimado que la carga de olefinas a esta unidad será alrededor de 1.200 barriles por día de calendario, de los cuales se obtendrán alrededor de 350 barriles de gasolina.

La planta puede dividirse en tres secciones:

- 1.ª Sección de preparación de la carga.
- 2.ª Reactor de polimerización.
- 3.ª Sección de recuperación del producto.

El objeto de la primera es la separación de los compuestos ácidos de azufre mediante un lavado con sosa y agua. La carga pasa a través de un recupera-

dor y un calentador de vapor de alta presión hasta alcanzar los 150° C. y entra en la cámara de reacción donde tiene lugar la polimerización. El producto resultante sufre primero una despropanización y luego una estabilización análoga a la de la unidad de destilación de 16.500 bbls.

AMPLIACIÓN DE LA CENTRAL DE VAPOR

Para cubrir las necesidades de vapor y electricidad de las nuevas unidades se ha previsto la instalación de dos nuevas calderas de 32.000 kgs./hora cada una, que se hará al descubierto, y las condiciones del vapor producidas serán iguales al actualmente usado.

Asimismo se instalará un tercer turbogenerador de iguales características que los actuales.

AUMENTO DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE CRUDO Y PRODUCTOS

La nueva fábrica tendrá una capacidad de refino de un millón de toneladas anuales, lo que representa una entrada de crudo mensual de alrededor de 84.000 toneladas. Para el almacenaje del crudo y sus productos se ha previsto el montaje de los siguientes tanques actualmente en construcción:

4 tanques para el almacenaje de crudo de 36 m. de diámetro por 12,6 m. de altura, provistos de techos flotantes tipo Wiggins. Capacidad, 12.500 m³.

3 tanques para «fuel-oil» y «gas-oil» de 30 m. de diámetro por 12 m. de altura, con techo cónico fijo. Capacidad, 8.900 m³.

1 tanque para almacenaje de gasolina de 27 m. de diámetro por 12 m. de altura, provisto de techo flotante tipo Wiggins, de capacidad 7.200 m³.

1 tanque para almacenaje de la carga a la unidad de reformado de 18 m. de diámetro por 12,6 m. de alto, con techo fijo y capacidad de 3.300 m³.

Todos ellos son de construcción enteramente soldada, ejecutada por especialistas españoles.

Los cuatro primeros tanques de crudo serán montados cerca del puerto de Escombreras, juntamente con las actuales bombas de descarga de buques que serán trasladadas.

Las instalaciones se complementarán con una planta de inhibición, una probable ampliación de la ca-

pacidad del tratamiento químico y una torre de refrigeración de agua de tiro inducido.

* * *

Y con esta descripción, demasiado breve para poder dar una idea completa de la importancia de la industria establecida en el Valle de Escombreras, deberíamos poner punto final a esta Memoria. Pero aunque sólo sea a modo de corolario, debe el autor hacer mención al esfuerzo técnico que ha sido preciso realizar para llevar a cabo tan importante obra en España.

Las dificultades económicas y de otra índole en que se ha visto envuelto nuestro país durante los años en que se construyó la Refinería actual, muchas de las cuales todavía perduran, vinieron a acumularse a las dificultades naturales que el proyecto tenía en sí mismo. Para comprender esto basta decir que el obstáculo principal para esta construcción proviene de la calidad especialísima de los materiales y de la maquinaria utilizados en las instalaciones. No era tampoco despreciable la carencia de materias primas que impidió a los fabricantes nacionales el cumplimiento de los plazos de entrega convenidos y retrasó con ello la terminación de los trabajos de construcción.

El tesón y la energía de los directores y técnicos que ejecutaron esta obra lograron salir airoso en su empeño, venciendo tanto las dificultades técnicas como las económicas y políticas que entorpecían su desarrollo. Ejemplo de ello fué el diseño y construcción en España de válvulas y accesorios de tuberías especiales, bombas centrífugas para gasolina, y alternativas para otros productos, recipientes de presión para construir y tratar productos altamente inflamables y volátiles, depósitos de almacenaje de acero de grandes dimensiones para almacenaje de productos petrolíferos, etc., etc., que la industria nacional realizó bajo la dirección y orientación de los técnicos de la Empresa Nacional «Calvo Sotelo» y de la nueva Refinería de Petróleos de Escombreras, S. A., más tarde.

Desgraciadamente, otros muchos materiales y maquinaria no ha sido posible conseguirlos en nuestra patria debido a las dos causas ya señaladas: carencia de materias primas y materiales especiales.

En este último aspecto, es de notar la naturaleza altamente corrosiva de muchos crudos, que obligan a

revestir las torres y columnas de fraccionamiento de aleaciones especiales o aceros inoxidable que por ahora no son producidos en España, o lo son en cantidad tan escasa, que obligan a largas demoras en las construcciones que han de utilizarlos.

Y asimismo deben construirse en estos materiales muchos recuperadores de calor y refrigerantes, partes de las bombas, los hornos de crudo, etc., etc.

El cambio favorable ocurrido en los dos últimos años en el comercio internacional ha permitido adquirir en el extranjero estos materiales e instalaciones

de que España es deficitaria, y con ello hacer una realidad la puesta en marcha de la Refinería de Escombreras y la primera fase de su ampliación.

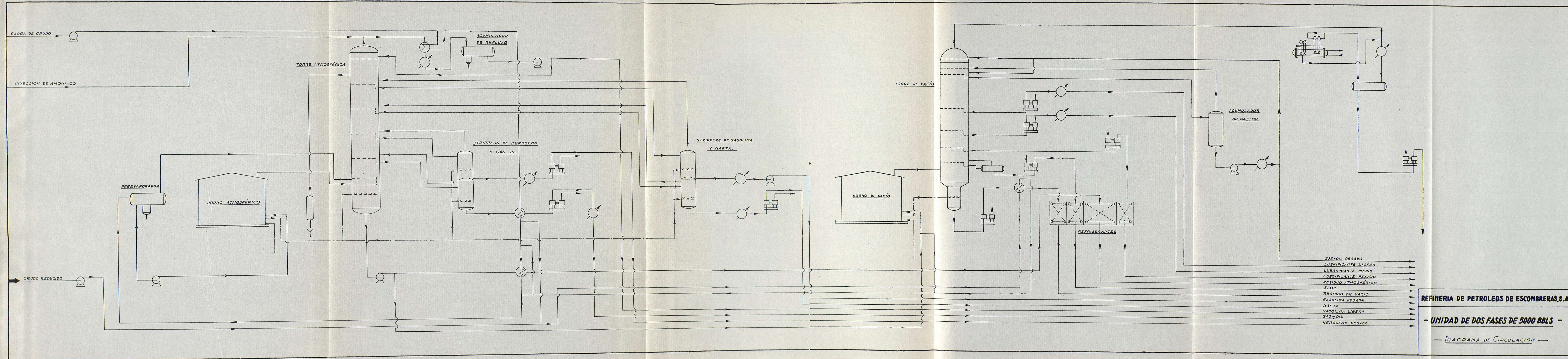
Esperamos que, con la ayuda de Dios, pronto se vea coronada por el éxito la enorme labor que representa esta importante Refinería, que tanto ha de beneficiar a nuestra Patria.

Madrid, mayo de 1950.

(Diagramas números 1 al 4 en las páginas siguientes.)

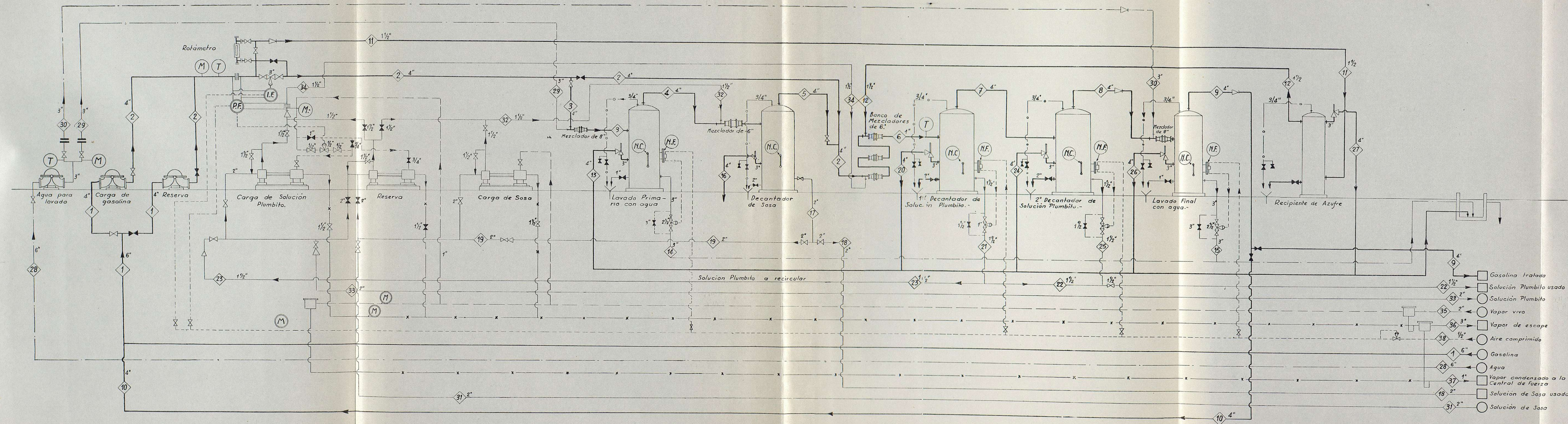
La lectura de este trabajo, que no presenta conclusiones, fué objeto de una gran atención por los asistentes.

Seguidamente D. Agustín Marín y Bertrán de Lis da lectura a la siguiente comunicación:



REFINERÍA DE PETROLEOS DE ESCHBRERAS, S.A.
 - UNIDAD DE DOS FASES DE 5000 BBLs -
 — DIAGRAMA DE CIRCULACION —

Diagrama n.º 2

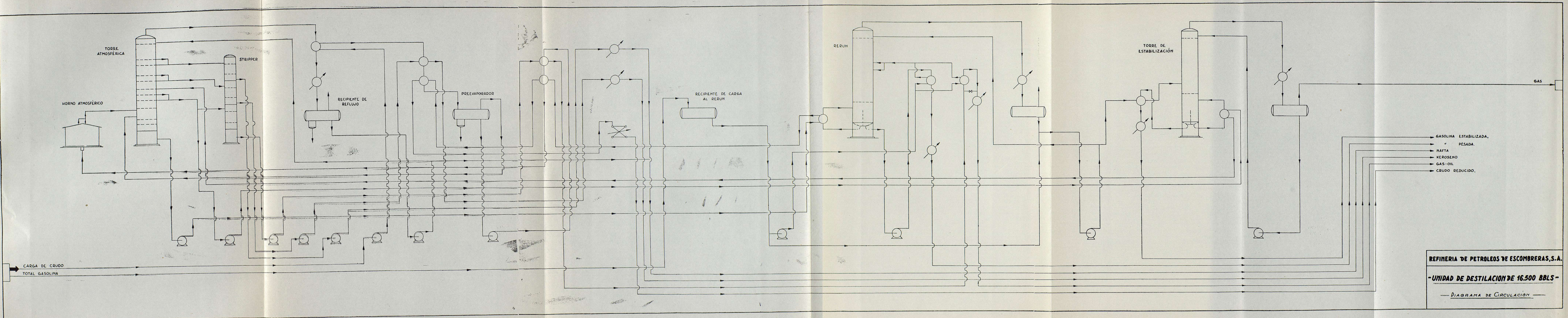


- LEYENDA**
- INSTRUMENTO MONTADO EN EL CUADRO
 - I.F. INDICADOR DE FLUJO
 - P.F. PROPORCIONADOR DE FLUJO
 - M. MANÓMETRO INDICADOR
 - N.C. TUBO DE NIVEL
 - N.F. MANDOS DE NIVEL ENTRE LÍQUIDOS
 - T. TERMÓMETRO
 - PURGA DE VAPOR
 - ✕ VÁLVULA NORMALMENTE CERRADA
 - VÁLVULA DE RETENCIÓN
 - ⚡ VÁLVULA DE SEGURIDAD
 - || DIAPHRAGMA DE LIMITACIÓN DE CAUDAL
 - || DIAPHRAGMA DE MEDICIÓN DE CAUDAL
 - ⚡ VÁLVULA AUTOMÁTICA
- Gasolina
 - - - Solución Plumbito, a Sosa
 - ... Agua
 - ... Vapor vivo
 - ... Vapor de escape y condensación
 - ... Aire comprimido
 - ... Ventilación

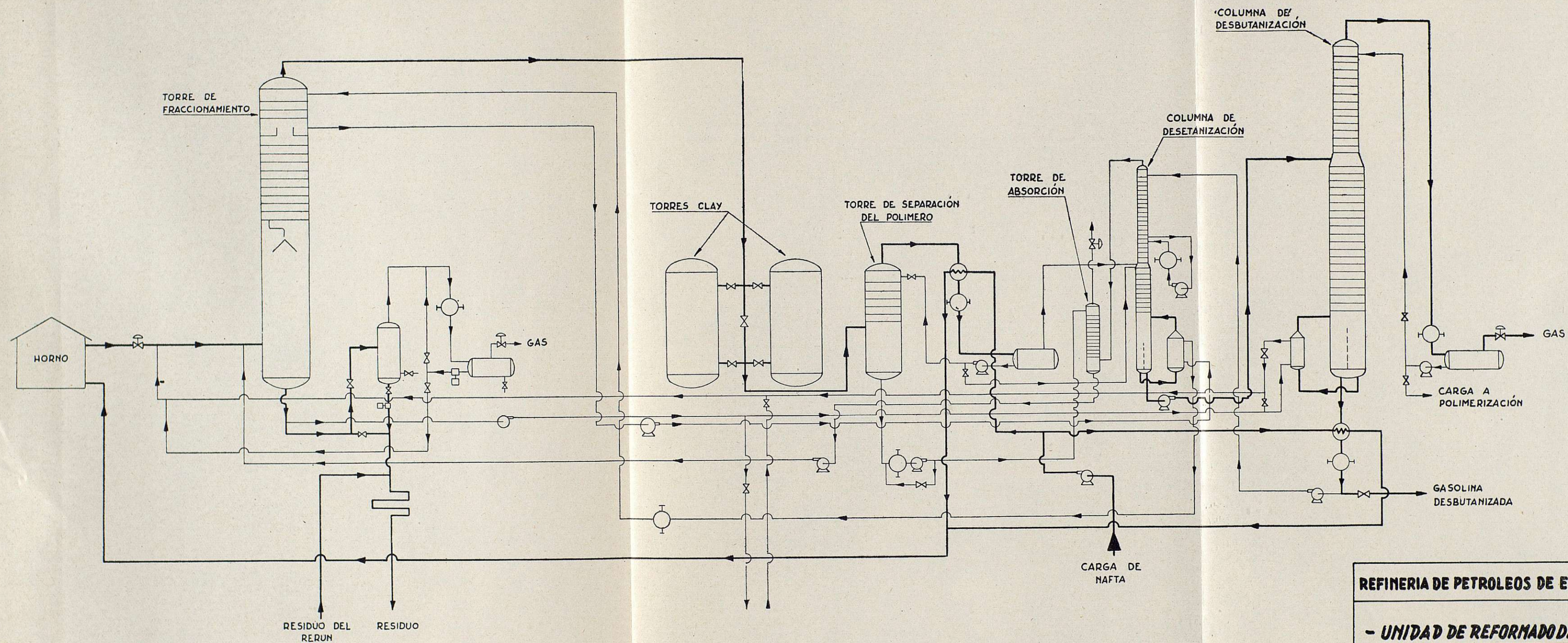
- Gasolina tratada
- Solución Plumbito usada
- Solución Plumbito
- Vapor vivo
- Vapor de escape
- Aire comprimido
- Gasolina
- Agua
- Vapor condensado a la Central de fuerza
- Solución de Sosa usada
- Solución de Sosa

REFINERÍA DE PETROLEOS DE ESCOMBREAS, S.A.

TRATAMIENTO QUÍMICO
 DIAGRAMA DE CIRCULACIÓN DEL TRATAMIENTO
 DE GASOLINA



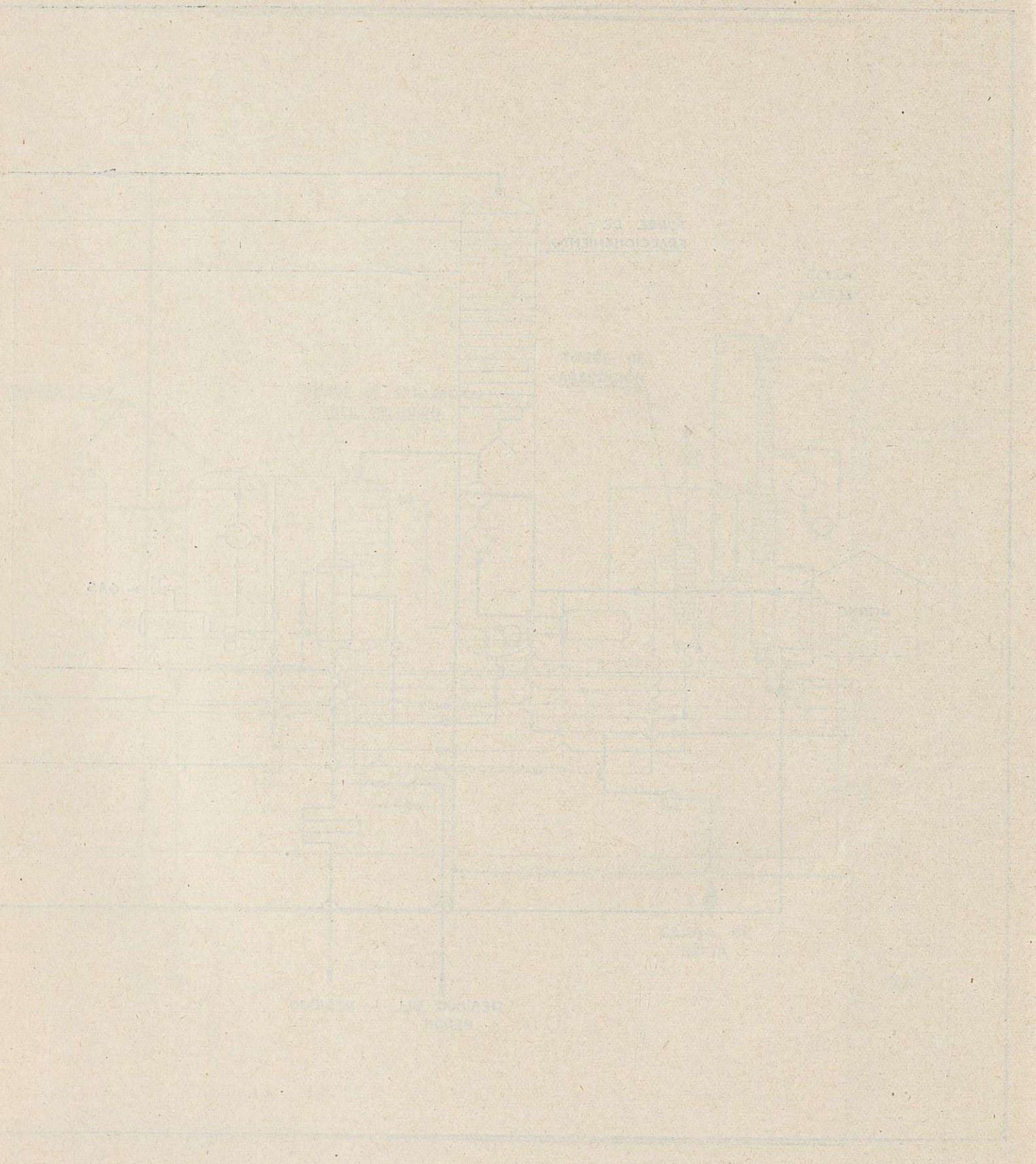
REFINERIA DE PETROLEOS DE ESCOMBRENAS, S.A.
 -UNIDAD DE DESTILACION DE 16.500 BBLs-
 -DIAGRAMA DE CIRCULACION-



REFINERIA DE PETROLEOS DE ESCOMBRERAS, S.A.

- UNIDAD DE REFORMADO DE 6000 BBLs -

— DIAGRAMA DE CIRCULACION —



N.º 241. - El problema del petróleo en España

Autor: D. AGUSTÍN MARÍN Y BERTRÁN DE LIS

Ingeniero de Minas

En los albores de la Humanidad, en los tiempos en que el hombre vivía de los frutos que él mismo recogía, es indudable que la riqueza principal la constituía la agricultura; pero a medida que la vida material era más complicada, desde el momento en que se establecieron relaciones entre los distintos pueblos de la Tierra, necesitó la agricultura que le prestara la industria importante auxilio. Ya decían en la Edad Media que la Castilla de los cereales necesitaba el hierro de Bilbao. Hoy día la agricultura necesita, para su propia vida, de la industria, pues es preciso intensificar los cultivos naturales para que éstos den el alimento necesario que exige la Humanidad, y tiene la industria que proporcionar los fertilizantes para acrecentar las cosechas, las máquinas para abaratar la producción, los transportes para trasladarlos a los sitios de consumo; es decir, que la industria rinde sus servicios a la agricultura, sin poder decir en la actualidad que una es más necesaria que la otra, aunque en la aportación de ambas a la economía sea la mayor la que corresponde a la agricultura. Las dos son imprescindibles mientras no se interrumpa el progreso de los pueblos.

Ahora bien, en la industria es esencial la adquisición de las primeras materias minerales, y aunque todas ellas son indispensables en la vida moderna, hay

algunas que por el volumen de sus aplicaciones, por su papel en la defensa nacional y por la preponderancia de su utilización en los quehaceres ordinarios de la vida, alcanzan un interés muy singular. Una de estas substancias es el petróleo, que si no se ha erigido en rey, como algunos proclaman, sí alcanza una categoría máxima en la economía de los pueblos, y sólo por ella ha sido posible la navegación aérea y la submarina. Se comprende, ante la importancia del gran carburante, el afán, el ansia que tienen los pueblos por buscarlo y los esfuerzos y sacrificios que para ello hacen.

La distribución en el mundo ha sido muy irregular, y hay continentes, como el europeo y el africano, donde las cuencas petrolíferas descubiertas son pequeñas y representan muy poco en la cubicación mundial. En cambio, en el continente americano y en el asiático se encuentran los más ricos criaderos del mundo. Es, sin duda, en el llamado Oriente Medio, principalmente Persia, en donde más petróleo existe en el mundo; se calcula en más de 27.000 millones de barriles, superando a los Estados Unidos, en donde se calculan 21.000 millones. De modo que en aquella región privilegiada del mundo, en donde se dan cita los tres continentes orientales, en las mismas tierras donde en la *Biblia*, por primera vez, se habla de hidrocarburos y

en donde primeramente se utilizaron los asfaltos en la construcción de Nínive y Babilonia, es donde se han descubierto de estos tiempos los mejores yacimientos petrolíferos.

En España, hasta el presente, no han sido halladas cuencas petrolíferas. Su suelo jugó un papel muy importante en la tectónica mundial, que dió por resultado que se nos presente como rota, como formada a pedazos, y por este motivo se ha considerado, por muchos geólogos, que de haber existido petróleo, éste ya ha desaparecido, ha emigrado de donde se depositó para ir a perderse en la superficie de la Tierra.

Sin embargo, como hemos indicado en otras ocasiones, creemos que en el mosaico hispánico se encierran unidades estructurales capaces de guardar el preciado aceite; aunque no parece posible existan las extensas y abundantes cuencas petrolíferas de América y Persia, pueden hallarse algunos yacimientos que nos basten para cubrir nuestras propias necesidades. Debajo de las formaciones secundarias del Sur de la Sierra Cantábrica que se extiende por las provincias de Burgos y Navarra y que desciende hasta la de Soria; en la parte meridional del Pirineo, sobre todo en su parte catalana, y tal vez en algún retazo de las cordilleras Ibéricas y en Andalucía, creemos que se debe investigar el petróleo en España. También es muy interesante la zona atlántica de nuestro Protectorado en Marruecos.

Pocos sondeos se han hecho hasta ahora en España y la mayor parte de ellos han sido negativos; pero por ello no hay que desanimarse, pues en los Estados Unidos se ha profundizado un sondeo por cada 31 kilómetros² en las zonas que consideraban de interés para hallar petróleo, y sólo una décima parte de ellos fueron positivos, lo que representa, sólo en la zona Burgos-Navarra, hacer cerca de 1.000 sondeos. En Persia, después de veinte años de trabajo y con un gasto de 25 millones de libras esterlinas, se descubrió el yacimiento de Mosjid-Suleiman. En Venezuela, tan rica en petróleo, se gastó sólo una Sociedad 80 millones de dólares antes de perforar el primer sondeo productivo; la Société Cheriffienne de Petrolès, en el Marruecos francés, lleva gastados 2.300 millones de francos en las importantes investigaciones que lleva realizadas. Sólo en el año 1948 se perforaron 55.200 metros en sondeos. En España realmente no se ha hecho nada. Se puede considerar que son muy pocos los sondeos que se han realizado en busca de petróleo con base científica. No cree-

mos que puede considerarse como comprendida en este concepto nada más que los taladros realizados por el Instituto Geológico en Robledo-Aledo y por la C. A. M. P. S. A. en el valle de Zamanzas, todos en la provincia de Burgos; el de Gastiain, en Navarra, por la Compañía Petrolera Ibero-Americana; el de Tremp, por el Instituto Geológico, y el de Oliana, llevado a cabo por la Compañía de Investigaciones Petrolíferas, S. A., ambos en la vertiente Sur del Pirineo; el de Burgo de Osma (Soria), perforado por la misma Compañía que el de Oliana; los realizados en Andalucía por el Instituto Geológico en Bornos y la Sociedad Villamartín Petroleum Co., en Villamartín, ambos en la provincia de Cádiz, y las investigaciones poco profundas de la zona de Larache por el Instituto Nacional de Industria.

De todos ellos, los realizados en Gastiain, los de C. A. M. P. S. A. y los del I. N. I. son los únicos que han atravesado capas que contienen hidrocarburos líquidos o gaseosos, pero en tan pequeña cantidad que hasta ahora el descubrimiento no alcanza interés industrial. Mas en Zamanzas las investigaciones realizadas por la C. A. M. P. S. A. son muy alentadoras. Se hicieron primero tres sondeos con sondas de poca potencia, y se halló en dos de ellos gas, petróleo y agua salada. En el designado con el número 3, de 820 metros de hondura, se hallaron dos niveles petrolíferos en el Wealdense y además se encontró petróleo en las grietas y fisuras del Lías, último nivel geológico alcanzado en el sondeo.

Con una máquina Rotary de la casa America Oil-Well, la C. A. M. P. S. A. está ejecutando el sondeo número 5, iniciado en el Wealdense, y en este terreno se perforaron 491 metros hasta llegar al Lías, en donde se encuentra ahora el taladro a más de 1.200 metros de hondura. En el Wealdense aparecieron a distintos niveles asfalto y una capa con petróleo, y en el Lías se encuentra petróleo en las grietas de las calizas margosas de dicha formación. No tiene aún el descubrimiento carácter industrial, pero coincidimos con Sanz, Ingeniero competentísimo que dirige los trabajos, que el petróleo, de existir, debe estar más hondo, en las rocas dolomíticas y carniolas del Lías y Trías.

A pesar de los esfuerzos tan valiosos realizados por empresa como la C. A. M. P. S. A., C. I. E. P. S. A. y alguna otra, no se ha emprendido con el brío necesario la investigación de los yacimientos petrolíferos que

puede encerrar el subsuelo español. En un plan que presenté a la Superioridad, proponía la ejecución de 50 sondeos en España y zona del Protectorado español en Marruecos en diez años, con un gasto total de 200 millones de pesetas, y no puedo negar que al redactar ese trabajo tuve que contener mis impulsos, que me llevaban a planes que me pareció eran incompatibles con nuestra penuria económica. La partida más importante de este presupuesto le correspondía al gasto de adquisición de sondas. Se proponía en él adquirir cinco sondas para alcanzar profundidades grandes, porque desgraciadamente en España, de existir petróleo, debe estar a honduras que pasan de los 2.000 y 2.500 metros.

No debemos olvidarnos de lo que la experiencia enseña y no dejarse llevar por el orgullo de nuestra nacionalidad para no ver en países extranjeros las normas en que debemos apoyar nuestros trabajos.

El problema de la investigación del petróleo que tenemos planteado en España lo tuvieron también en Francia, con la diferencia de que este país lo acometió con energía hace muchos años, y nosotros casi no hemos empezado. Las investigaciones en Francia se hacen en dos sitios principalmente: en las estructuras de las estribaciones de la cordillera pirenaica y de la región marroquí (1) próxima a nuestro Protectorado. En España, según los geólogos, los sitios que presentan más posibilidades de hallar petróleo son los que se encuentran en posición equivalente a las estructuras francesas en las estribaciones meridionales del Pirineo y zona cantábrica y las que se hallan en la prolongación de los pliegues anticlinales y diapíricos que se están reconociendo en el Marruecos francés en la zona de Petitjean, Zoco el Arba y Bajo Lucos, en nuestra zona atlántica de Alcazarquivir, Larache y Arcila. Ellos, como nosotros, se encontraban sin haber descubierto yacimientos petrolíferos y sólo tenían señales e indicios del mismo orden de los que hoy nos guían para proponer las investigaciones en región española. Es preciso, por consiguiente, aprovechar las enseñanzas de la investigación petrolífera en el país vecino y no dar esos primeros pasos titubeantes que forzosamente dieron los franceses y que aprendamos a organizarnos de modo que vayamos venciendo las dificultades que se nos presenten y que podemos prevenir, por experiencia ajena, de qué orden van a ser.

(1) En Alsacia se ha hecho un sondeo recientemente con resultado productivo.

En las estribaciones bajas de la parte septentrional de los Pirineos trabajan Regie Autonome de Petrolès (R. A. P.), completamente estatal; Société National de Petrolès d'Aquitaine (S. N. P. A.), Société Nationale Petrolès de Languedoc-Méditerranéen (S. N. P. L. M.), y se va a crear ahora la Sociedad Standard Français de Petrolès. La empresa R. A. P. lleva perforados, de 1939 a 1947, 78.878 metros de sondeo. En uno de ellos ha llegado a la profundidad de 4.162 metros; R. A. P. es la única empresa que tiene rendimiento económico. La producción de gas que se capta en los sondeos llegó en 1948 a 174 millones de metros cúbicos, que será superada en 1949, y la de butano y gasolina fué, en 1948, de 11.220 Ts. El gas es comprado por la Sociedad Gas de France para alumbrado en Tolosa, Tarbes, Lourdes, Pierrefite, Pau, Agen y otros, y está en construcción una conducción de 525 kilómetros de longitud con tubería de 200 m/m. y con presión de 60 kilogramos para su utilización en Burdeos. Según el geólogo Cinzancourt, existen en esta cuenca de St. Gaudens por lo menos 5.000 millones de metros cúbicos y como máximo 9.000 millones. Según Schneegans, las reservas son de unos 8.000 millones de metros cúbicos. Últimamente han descubierto en el sondeo nombrado Lacq número 1, en el Campanense, a unos 600 metros de hondura, petróleo que sube a 15 metros por bajo de la superficie. Se calcula la producción en unos 20.000 litros diarios.

En el Marruecos francés llevan los franceses treinta y seis años trabajando, pero realmente hasta que se constituyó la Société Cheriffienne des Petrolès no se han hecho investigaciones de importancia. Realmente se equiparon bien de trenes de sondeo de 1943 a 1947. En 1947 se perforaron 25.000 metros y en 1948, 55.200. Antes de la segunda guerra mundial se habían descubierto tres yacimientos, el de Ain Hama, al Norte del Zoco el Arba del Rharb; el de Yebel Tselfat y el de Bon Draa, al Este y Sudeste de Petitjean. El descubrimiento del de Tselfat fué en 1934 con la sonda T. 26, y se produjo una violenta explosión e incendio. Al principio se obtenían 250 toneladas por día y fué disminuyendo el gasto poco a poco hasta casi desaparecer. El terreno está muy quebrantado y las fisuras la mayor parte invadidas por el agua. Además el campo de producción es pequeño. Se extrajeron en doce años 45.000 toneladas. En 1947 la producción de todos los sondeos no llegó a 2.000 toneladas.

En octubre de 1947 en el sondeo OB. 7, en el valle de Oued Beth, entre Dar Bel-Hamari y el Kansera, se cortó petróleo en el Paleozoico, a la profundidad de 1.000 metros. Se hicieron las instalaciones de captación correspondientes y se extraen con regularidad 18 metros cúbicos por día. Después, en el transcurso del año 1948, se perforaron otros cuatro sondeos productivos situados a unos centenares de metros del primero, y todos alcanzaron una producción semejante. Se considera que en este campo hay unas 400.000 toneladas de petróleo y que se puede alcanzar una producción anual de 40.000 toneladas.

Ultimamente, en enero de este año, se ha descubierto un nuevo campo en el borde de la planicie de Mequinez, con un sondeo que resultó positivo, y se han intensificado mucho las investigaciones en esta comarca.

Los esfuerzos en busca de petróleo en Francia lo fueron con provecho, y el obtenido en la cuenca de la vertiente septentrional del Pirineo es grande, pues con el beneficio que deja la venta de los gases han amortizado los trabajos de investigación realizados en su busca. Estos resultados animan a multiplicar los reconocimientos, y hoy tienen instaladas más de 24 sondas en la zona pirenaica y otras tantas en Marruecos. ¿No anima a los españoles a tomar en serio las investigaciones petrolíferas en nuestro país, que cuenta con estructuras con cierta analogía o en prolongación de las francesas?

Pero el dinero, elemento indispensable en el problema de investigación que hay planteado en España, no es sólo lo que hace falta para resolverlo, no es lo único. Hace falta crear una buena organización e ir en todo tiempo guiado por la técnica. En España, hay que confesarlo, no tenemos experiencia en estas cosas, y así como supimos ser mineros y nuestros conocimientos crearon en España y en la América hispana escuelas de bien laborar las minas, y de bien beneficiar los minerales, nos falta, por no habernos nunca enfrentado con él, práctica en la investigación, prospección y explotación de los yacimientos petrolíferos. Es un problema científico y no hay que confiar en la suerte, porque hay que reconocer que ésta, la mayor parte de las veces, no es más que una forma poco analizada del mérito.

Es necesario gastar el dinero de modo que sea eficaz, y para ello es preciso preparar el personal, desde

el Ingeniero hasta el peón. Es esencial la creación del técnico del petróleo, que apenas hay hoy en España.

No somos de los que creemos en los especialistas encadenados en una estrecha celda científica, pero sí los que poseyendo una cultura general toman un camino determinado en la ciencia, sin dejar de relacionarse con otras disciplinas. De esta clase de técnicos nos parece que debe valerse la industria en general y muy particularmente para llevar a la práctica el plan de reconocimientos petrolíferos que España pide. La técnica se debe apoyar en la ciencia, sin que pueda existir el divorcio que algunos quieren establecer entre una y otra. Nos llevaría muy lejos enumerar aquí las muchas mejoras en el tratamiento de los petróleos que tuvieron su origen en trabajos realizados en los laboratorios científicos. La técnica del petróleo tiene que tener como base para su desarrollo laboratorios en donde se trabaje en cuestiones en relación con la obtención del petróleo.

La técnica de la investigación y explotación del petróleo comprende cuatro ramas esenciales: Primero: Prospección geológica y geofísica (procedimientos gravimétricos, sísmicos, telúricos). Segundo: Ejecución de sondeos, principalmente con máquina Rotary, y empleo de lodos con estudios mineralógicos y paleontológicos, principalmente de la microfauna, de detritus y testigos. Tercero: Extracción y producción del petróleo con los procedimientos de testificación eléctrica y radiactiva en los taladros y aparatos de medida para determinar caudal y capacidad (mecánicos, eléctricos); y Cuarto: Almacenaje y refinado.

Estos estudios exigen laboratorios especiales, algunos de carácter elemental, en el mismo sitio del sondeo, como los de viscosidad, densidad y espesor de la pasta de las bentonitas, el examen al microscopio de detritus, etc., y otros en laboratorios centrales con aparatos más complicados. En Francia los laboratorios centrales están concentrados en el Instituto del Petróleo del Rueil-Malmaison, cerca de París, con magníficas instalaciones que contienen aparatos de tanto valor científico y de tanto valor pecuniario como el espectrógrafo de masas y el microscopio electrónico.

Para la prospección, para la dirección de la ejecución de los sondeos, para determinar producción y cubicación de los yacimientos, para hacer las instalaciones de almacenaje y refinado y para ponerse al

frente de los muchos laboratorios que es preciso establecer, hace falta personal especializado de ingenieros y técnicos de alta formación cultural y para dirigir el manejo de las sondas, la aplicación práctica de los lodos, el manejo de aparatos de producción y para hacer las medidas que determinen la capacidad de los criaderos, hacen falta contra maestros o maestros sondistas muy especializados del nivel cultural de un ayudante de minas o un capataz.

Como en España son contados los técnicos que se han ocupado algo de las disciplinas referentes al petróleo, es preciso formarlos, y esto se puede hacer de dos maneras: o trayendo profesores de fuera que enseñen a ingenieros y sondistas los conocimientos indispensables para los problemas prácticos del petróleo, o enviando ingenieros y capataces al extranjero durante un año para que adquieran prácticamente dichos conocimientos.

En la Escuela de Minas se podría ampliar, durante uno o dos años, el cursillo que ahora se da allí para ingenieros. Al terminar estos estudios podían concedérseles el título de Especialistas en Petróleo. En las Escuelas de Capataces de Manresa, Bilbao y Huelva, por ejemplo, se podría dar un cursillo para capataces, haciendo las prácticas en las sondas Rotary que existen en España.

En el personal, lo principal, a nuestro juicio, es que tengan afición al asunto que ha de ocupar sus actividades y sentir el honor profesional, de modo que con técnicos de estas condiciones se puedan formar equipos de investigadores y equipos de sondeadores que sientan el problema que quieren resolver, que sean de los que se alegren en conjunto con el buen éxito y sufran con tristeza el fracaso, sin perder el deseo de desquite. Creemos que lo mismo que en los demás países que dan a la explotación del petróleo la excepcional importancia que tiene, se debe crear el

Instituto del Petróleo con carácter científico y económico.

Como resumen de lo expuesto, propónese lo siguiente:

CONCLUSION

Nos parece que el camino que se debe seguir en el asunto del petróleo en España está claro. Es preciso definir de modo claro y urgentemente la política petrolífera que debe seguir España; o se acomete con los medios necesarios la investigación del petróleo de modo grande, o se considera que es empresa aleatoria y muy oneroso para España y que no se debe realizar trabajo alguno de reconocimiento. En el caso de que nuestro país se decida por la investigación, por creer que hay posibilidades de hallarlo y que su existencia nos daría una libertad económica y unos medios de defensa que ahora no tenemos, los trabajos se deben realizar con gran intensidad, comprando sondas Rotary, para llegar hasta 3.500 metros, y otras de reconocimiento de menos importancia, formar el personal en la forma que antes hemos indicado y encauzar y organizar los esfuerzos que haga el Estado y los que puedan llevar a cabo los particulares de modo que se realice una labor eficaz y apoyada en la ciencia y en la práctica. Se debe crear un Centro director sede de los laboratorios que creemos debe ser el Instituto del Petróleo. Los fondos que se empleen en esta gran empresa pueden ser recuperables como lo fueron en Francia y como en Inglaterra, pero de momento habría que considerarlo como a fondo perdido, lo mismo que el dinero que se gasta en la Defensa Nacional o en la Instrucción Pública, y aún debemos reflexionar que no será del todo perdido, pues habrá servido para conocer nuestro país, y este conocimiento es primordial para determinar nuestra conducta política en el porvenir.

*Con el aplauso de los asistentes, son aprobadas las conclusiones.
Después de una intervención de D. Pedro de Novo y Fernández Chicarro, quien
hace resaltar la importancia vital que tiene el tema que se estudia y la coinciden-*

cia de las sugerencias del mismo con las del Sr. Merry del Val, el Sr. Presidente felicita al Sr. Marín por su trabajo, destacando la personalidad de su autor, cuyo prestigio confirma el hecho de haber sido llamado a consulta por los Ingenieros especialistas de Francia que dedican sus actividades a los estudios geológicos en relación con los yacimientos de petróleo.

El Presidente a continuación concede la palabra a D. Mariano Alvarez Garcillán, que lee el siguiente trabajo:

N.º 171. - Economía y política del refino y utilización de gasolina

Autor: D. MARIO ÁLVAREZ-GARCILLÁN
Ingeniero Industrial

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES DE UN PROBLEMA UNIVERSAL

El fantasma del agotamiento de las reservas mundiales de hidrocarburos naturales se va desvaneciendo, dejando tras de sí larga serie de errores puestos en evidencia y, lo que es mejor, una alegre este-

la de problemas resueltos. El temor, casi pánico, que despertó mientras se agitó ante nosotros, aguzó el ingenio de los expertos, como no podía menos de ser, y el resultado está en esas curvas de reservas mundiales reconocidas que, mes tras mes, van optimistamente remontando una pendiente suave, pero constante.

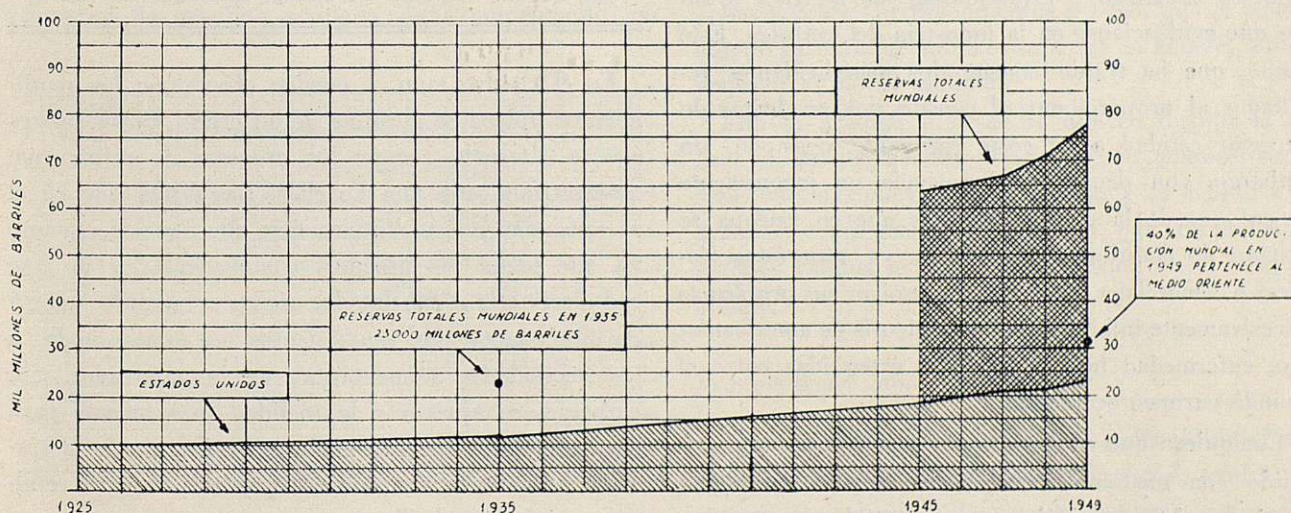


Gráfico núm. 1.—Reservas de petróleo comprobadas.

Sin embargo, ninguna crisis de ideas o de hechos pasa sin dejar sus huellas y, precisamente por seguir las muy marcadas que estos años de temores dejaron, vamos a intentar centrar algunas nociones sobre el complejo tema de la política mundial de carburantes desde un punto de vista español y europeo en general.

Se ha hablado, se habla y se hablará mucho sobre la calidad de los carburantes para los motores modernos, y no siempre cara a la realidad. Entramos, o quizá estemos ya de lleno, en una era en que las ideas que vienen del otro lado del Atlántico se aceptan por el sólo crédito que les da su origen, y ya empezamos a comprobar que teniendo aquéllas mucho de bueno, siempre traen la desventaja de no estar enfocadas y pensadas con ojos y mente europeos. Esta realidad tiene, a nuestro juicio, decisiva importancia en el tema que abordamos.

Hasta hace muy poco tiempo la política mundial del petróleo se ha movido casi exclusivamente al arbitrio de los grandes «carteles» norteamericanos, y la técnica industrial que para todo ha contado en ella, ha sido la que Estados Unidos ha dictado desde sus laboratorios, desde sus Congresos profesionales y desde los despachos de sus ejecutivos. Nada hay en esta rama de la industria que no esté profundamente influido por ese estilo que en Norteamérica se sabe dar aún a los problemas más insignificantes, y sin duda es por ello, justo es decirlo, por lo que no existe actualmente ninguna técnica que haya experimentado, en extensión y profundidad, los ingentes avances que evidencianse en la industria del petróleo. Este hecho, que ha traído consigo los más brillantes resultados al proporcionar al consumidor productos de superior calidad a un coste razonable, ocasiona, sin embargo, con demasiada frecuencia un inconsciente desenfoco de la realidad, en los que en Europa se ocupan de cuestiones petrolíferas, ya sean éstas técnicas o comerciales, al plantear y resolver sus problemas excesivamente influidos por esta psicosis de americanismo, enfermedad hoy de las más extendidas entre el mundo europeo occidental.

Cualquiera que en los últimos veinte años haya seguido con mediana atención las trayectorias de la técnica de la producción de combustibles ligeros, habrá observado que todas sus alternativas y tenden-

cias han estado inspiradas siempre por los tres principios siguientes:

- a) AUMENTO DEL RENDIMIENTO EN GASOLINA DE LOS CRUDOS.
- b) MEJORA EN EL PODER ANTIDETONANTE DE LAS GASOLINAS.
- c) DISMINUCIÓN DE PÉRDIDAS DE REFINO.

El petróleo crudo y su rendimiento en gasolina.

Hasta finales del siglo pasado, la única fracción del petróleo con aprovechamiento definido y, por lo tanto, vendible, era el keroseno o petróleo lampante, y a su obtención se dedicaban todas las instalaciones más o menos elementales que entonces constituían la industria refinadora. El nacimiento y extensión de los motores de explosión y combustión interna fué modificando radicalmente las características de los mercados y, año tras año, el componente antes indeseable, la gasolina, se convirtió en lo que podemos llamar el elemento noble del petróleo, a cuya obtención, en proporción cada vez mayor, dedicaron las Entidades petrolíferas sus mejores esfuerzos.

Cuadro núm. 1.—Rendimientos promedio en gasolina de los procesos típicos

	Proceso típico	Rendimiento en gasolina total en volumen
Hasta el año 1920	Destilación normal.	25 %
De 1920 a 1942	«Cracking» térmico.	60 %
Desde 1942	«Cracking» catalítico.	80 %

En el cuadro núm. 1 pueden observarse los rendimientos típicos en gasolina de un crudo medio en tres épocas diferentes, según los procesos de refinación que caracterizan cada una de ellas. Las cifras que en él se consignan no constituyen más que una orientación, ya que según los procesos complementarios de que cada refinería está dotada, siempre ha sido y será posible adaptar los rendimientos, en cierto modo, a las necesidades momentáneas de los mercados. Sin embargo, se ajustan a la realidad lo suficiente para dar una buena idea de cómo los esfuerzos de la técnica refinadora han producido en este aspecto resultados realmente brillantes.

Naturalmente, este señaladísimo incremento en el

porcentaje medio de gasolina es paralelo a razones comerciales derivadas del uso cada vez más extendido del automóvil y, en general, del motor de explosión.

Ya en el año 1938, último normal de anteguerra, las proporciones medias mundiales de productos refi-

nados obtenidos, en porcentaje sobre el crudo consumido, eran las que se consignan en el cuadro número 2. Es decir, una tercera parte del crudo extraído se convertía en gasolina para alimentación de autos y aviones.

Cuadro núm. 2.—Rendimientos estimados mundiales en el refino de petróleos naturales

	1938		1947	
	Litros : 10 ³	%	Litros : 10 ³	%
MATERIA PRIMA UTILIZADA	318.558.424	100	472.040.230	100
PRODUCTOS				
Gasolinas	116.295.390	36,5	155.563.970	33,1
Keroseno	25.463.718	8,0	34.118.874	7,3
«Gas y Diesel Oils»	37.755.122	11,9	72.046.472	15,4
«Fuel-oil»	87.593.343	27,5	127.058.475	26,8
Lubricantes... ..	8.084.619	2,5	10.706.653	2,2
Otros productos	10.160.400	3,2	20.207.906	4,2
PRODUCTOS TOTALES	285.352.592	89,6	419.702.355	89,0
Combustibles consumidos en las refin- erías y pérdidas	33.205.832	10,4	52.337.975	11,0
	318.558.424	100	472.040.230	100

En 1947, ya en plena postguerra, la escasez mundial de carbón promovida por la tremenda baja en la producción de este combustible en Europa y por las huelgas en Estados Unidos, hace subir sensiblemente el consumo relativo de productos pesados, y por ello el porcentaje de gasolina sobre la producción total, baja ligeramente, aun cuando el valor absoluto mundial de gasolina refinada sigue aumentando ex-

traordinariamente, como puede verse en el citado cuadro núm. 2.

En el gráfico núm. 2 se presentan las curvas de rendimiento en volumen que, en los productos más significativos, se han obtenido en los crudos destilados en Estados Unidos desde 1930 hasta la actualidad. Puede fácilmente observarse, tomando como cifras de referencia las correspondientes a 1938, que el porcentaje de gasolina obtenido es superior en Estados Unidos respecto al global mundial.

Ello se produce a pesar de que en Europa la utilización de los aceites pesados como combustible es más limitada que en Norteamérica, y es debido a los grandes contingentes de gasolina que refinados en Estados Unidos se exportaban y exportan al resto del mundo.

Economía del motor de explosión.

Todo procedimiento conducente a disminuir el consumo específico promedio de los motores, tendrá una acción equivalente a la que la industria refinadora lleva a efecto para, por medio de constantes per-

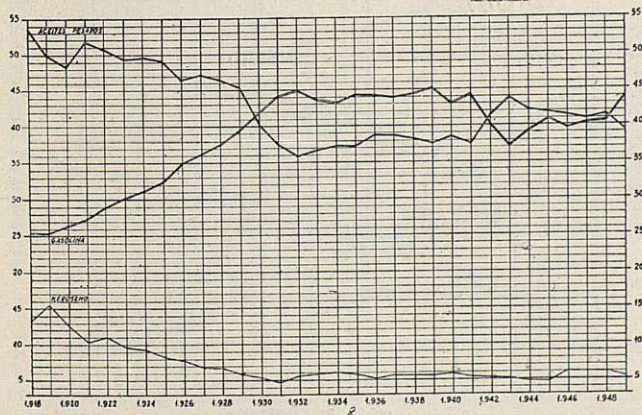


Gráfico núm. 2.—Rendimientos de refino en Estados Unidos (1918-1949).

feccionamientos en sus procesos, aumentar el rendimiento en gasolinas de los crudos. Esta política de disminución de consumo por kilómetro, constituye una auténtica obsesión para los fabricantes de automóviles del mundo entero, que dedican constantemente ingentes esfuerzos y muy importantes inversiones de capital para mejorar año tras año las condiciones de los motores en este aspecto (cuadro núm. 3). Los recursos para ello son aparentemente varios, y al alcance del profano está cuanto se ha hecho en lo que se refiere a disminución de peso, mejoras en los sistemas de alimentación y racionalización de líneas bajo el punto de vista de la aerodinámica, en el coche moderno. Sin embargo, el factor decisivo estriba en la mejora del rendimiento térmico de los motores, hecho lógicamente fundamental en esta cuestión.

Es oportuno recordar a este respecto que la única variable de que depende el rendimiento térmico del ciclo de un motor de explosión o de combustión, es la relación de compresión, a la cual está ligado por la siguiente conocida ecuación:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r} \right)^{\gamma-1} \quad \left\{ \begin{array}{l} \eta = \text{rendimiento térmico.} \\ r = \text{relación de compresión.} \end{array} \right.$$

Según el tipo de mezcla carburante que se utilice, varía el valor de γ , que oscila entre 1,396 para el aire y 1,258 para la mezcla perfecta de aire y gasolina, que es 1,295 para la mezcla 20 % pobre.

Estos dos últimos valores fueron determinados teóricamente por Tizard y Pie, experimentalmente, y, demostró Ricardo que, si bien los incrementos relativos del rendimiento respecto a la relación de compresión, se deducen con suficiente exactitud de la aplicación de los citados valores de γ , los valores prácticos absolutos son alrededor de un 6 % más bajos, según puede verse en el gráfico número 4.

La utilización de un alto índice de compresión tiene efecto inmediato, no sólo sobre la potencia y el consumo específico de los motores, sino también sobre sus condiciones de trabajo y, principalmente, como es lógico, sobre las pérdidas en calor no utilizándose, arrastrado por los gases de escape y el agua de refrigeración. Por otra parte, cuanto mayor sea el contenido térmico de los gases de escape, menor será el volumen de éstos que, por unidad de tiempo, pueda pasar a través de las válvulas de escape sin que

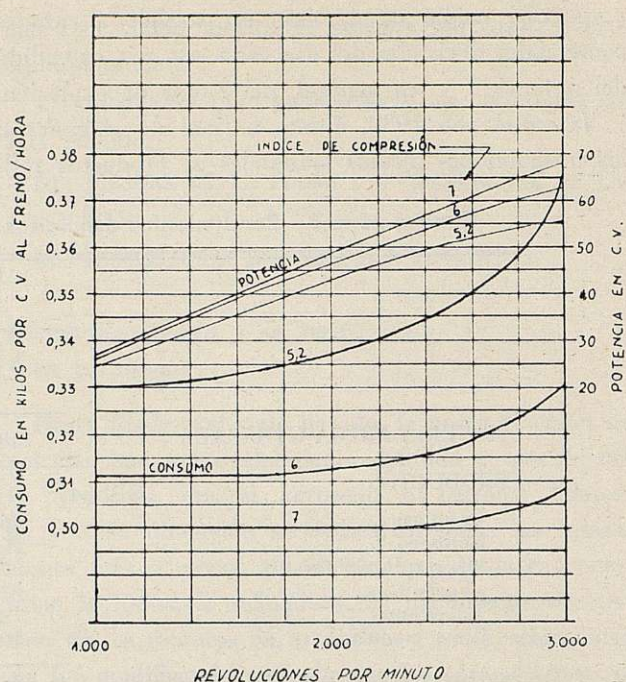


Gráfico núm. 3.—Curvas de relación entre consumos específicos, potencias, velocidades e índices de compresión.

éstas sobrepasen su temperatura normal; circunstancia que ineludiblemente limita la velocidad del motor. Las influencias mutuas entre todos estos factores se presentan claramente en los gráficos números 4 y 5, en los cuales figuran las curvas prácticas correspondientes a índices de compresión 5,2, 6 y 7.

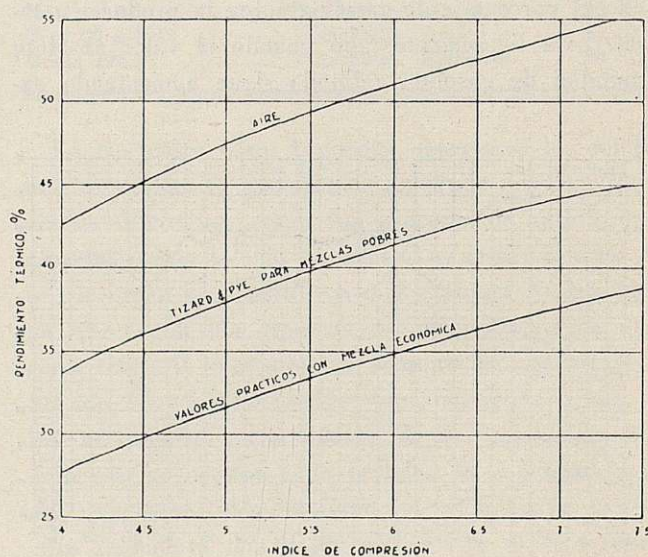


Gráfico núm. 4.—Relación entre rendimientos térmicos e índices de compresión.

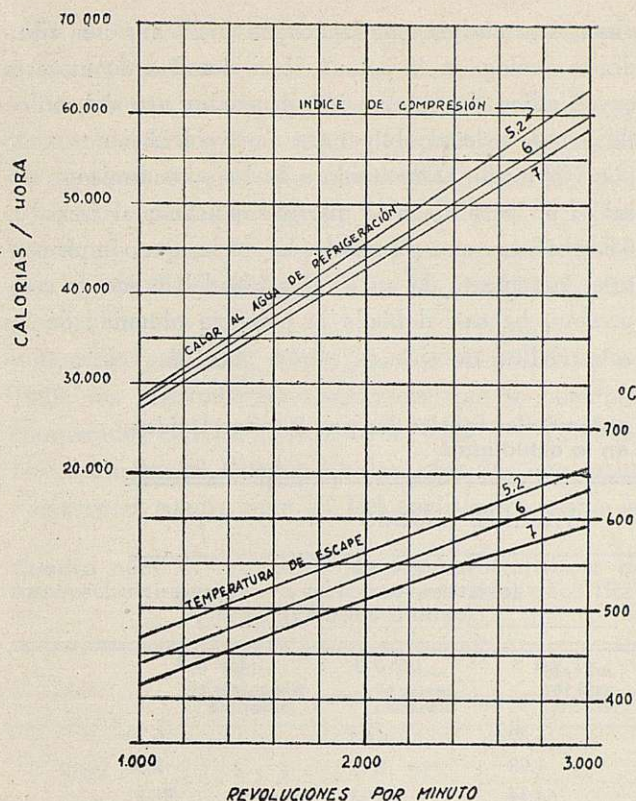


Gráfico núm. 5.—Curvas de relación entre calor perdido en el agua, temperatura de los gases de escape, velocidad e índice de compresión.

Igualmente, y aunque parezca paradójico, los esfuerzos sobre el cigüeñal son a la velocidad normal de régimen, menores cuanto más alto es el índice de compresión, debido a que las fuerzas de inercia de los órganos en movimiento suelen ser superiores a las originadas por las presiones de trabajo, como puede observarse en el cuadro núm. 3 (1).

Es claro, pues, que fortísimas razones de índole eco-

Cuadro núm. 3.—Presiones sobre los cojinetes del cigüeñal en función de la velocidad y el índice de compresión. (Motor americano, 8 cilindros)

R. P. M.	Índice de compresión	Presión a plena admisión, lbs.	Presiones de inercia, lbs.
1.000	5.5	532	286
1.000	7.0	580	286
2.000	5.5	1.208	1.138
2.000	7.0	1.222	1.138
3.000	5.5	2.492	2.590
3.000	7.0	2.480	2.590
4.000	5.5	4.460	4.600
4.000	7.0	4.300	4.600
5.000	5.5	7.081	7.251
5.000	7.0	7.027	7.251

(1) Obsérvese que las fuerzas de inercia son, en muchos casos, mayores que las totales con el motor funcionando a plena admisión. Ello es debido a que las dinámicas pueden ser de signo contrario.

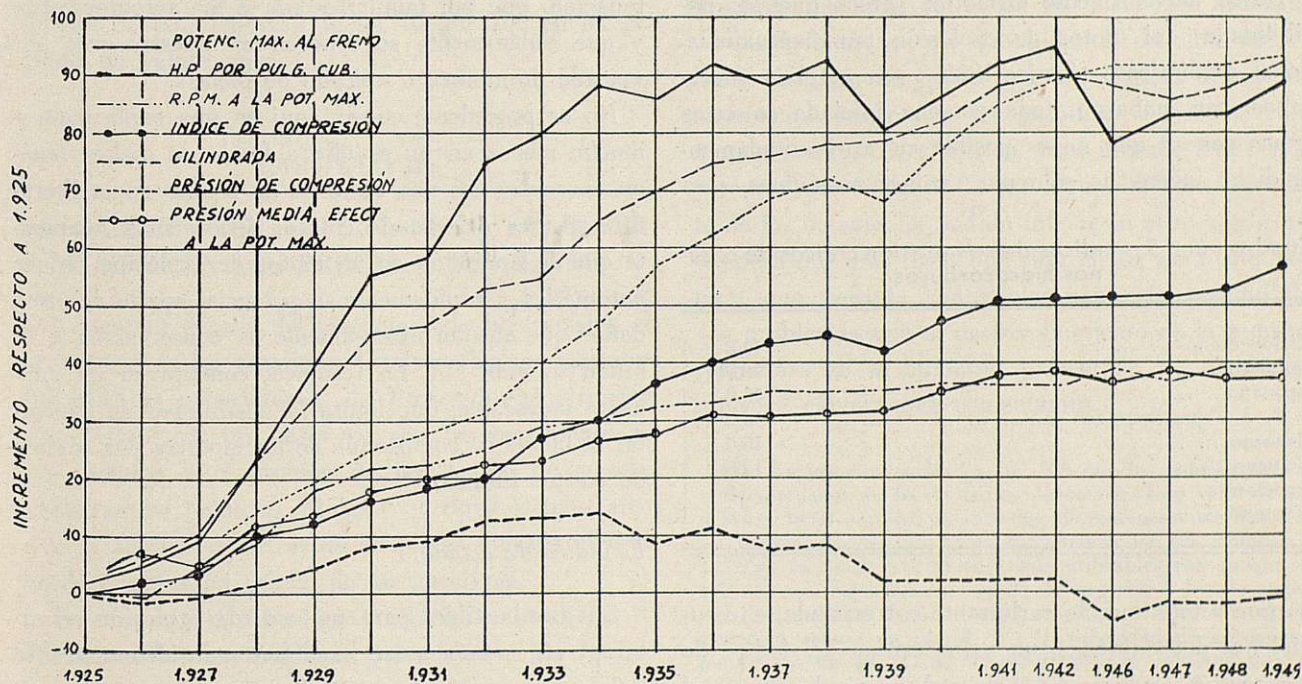


Gráfico núm. 6.—Características fundamentales de los coches norteamericanos en los últimos veinticinco años.

nómica aconsejan la utilización de altos índices de compresión en los motores, y en este sentido están dirigidos los adelantos fundamentales del motor de explosión en los últimos años.

En el año 1949, el índice de compresión promedio en los coches norteamericanos e ingleses ha sido, respectivamente, 6,88 : 1 y 6,82 : 1, con una cilindrada de 250 pulgadas cúbicas para los primeros y 121 para los segundos que dan en aquéllos un promedio de 110 caballos al freno, frente a 63,14 los de fabricación in-

glesa. Los coches americanos de 1928/29, con cilindrada análoga a la actual, iban dotados de motores cuyo índice de compresión promedio era del orden de 5 : 1, lo cual obligaba a una velocidad de un 33 por 100 menor. Ello unido a su bajo rendimiento térmico, no permitía más que una potencia al freno de 65 caballos como promedio. Es decir, que simplemente el incremento de un 35 por 100 del índice de compresión, ha casi doblado la potencia obtenida de los automóviles americanos en un plazo de veinte años.

Cuadro núm. 4.—Características técnicas de los automóviles fabricados por Estados Unidos, Inglaterra y Francia en la actualidad

	VALORES MEDIOS			
	Estados Unidos	Inglaterra		Francia
	1949	1949	1950	1950
Índice de compresión	6,88	6,82	6,83	6,70
Cilindrada, litros	4,08	1,98	2,08	2,50
Potencia máxima al freno, HP. ...	111,80	63,14	65,93	80,00
Revoluciones a la potencia máxima.	3.600,00	4.227,27	4.182,98	4.000,00
Potencia por litro, HP.	26,75	32,90	33,20	32,12
Peso por caballo, en Kgs/HP. ...	14,40	—	—	—

De lo anteriormente expuesto, parece que las posibilidades del motor de explosión para aproximarse al rendimiento térmico límite, son amplias y cercanas. Sin embargo, toda persona iniciada en estos temas conoce que no es posible elevar ilimitadamente dicho índice, no sólo por razones mecánicas, sino

Cuadro núm. 5.—Índices de compresión críticos de algunos hidrocarburos

Ciclopentano	10,8 : 1
Isobutano... ..	8,9 : 1
Triptano... ..	13,0 : 1
2, 2, 3 Trimetilpentano	12,0 : 1
Benceno	> 15,0 : 1
Tolueno	13,6 : 1
Isooctano... ..	8,0 : 1
Heptano	3,0 : 1

porque a toda mezcla carburante corresponde, en condiciones determinadas, un valor crítico del índice de compresión, sobrepasado el cual se producen en el motor que le utiliza los conocidos fenómenos de de-

tonación, que tan familiares son a los automovilistas, y que vulgarmente se conocen en nuestro país por «picado de motor» o «picado de bielas».

No es procedente entrar aquí en una explicación y mucho menos en un estudio a fondo de dichos fenómenos, sobre los que tanto se ha escrito en la literatura técnica del mundo entero. Recordemos solamente que su aparición en un motor de explosión reduce automática y rápidamente su potencia, aparte de otros daños que afectan extensamente su conservación y limitan su vida útil. En resumen, constituyen un incidente indeseable, que limita la posibilidad de aumentar el índice de compresión de los motores por encima de ciertos límites.

El índice de octano.

Los combustibles para motores de explosión se valoran, en cuanto a sus cualidades antidetonantes se refiere, por medio de su «índice de octano», cuyo valor es mayor cuanto más alto es el índice de compre-

sión de cada combustible que pueda tolerar sin producir detonación.

Es evidente, por lo dicho, que la utilización de gasolinas de índice de octano alto permite obtener de los motores más elevado rendimiento. Esto se traduce, naturalmente, en mayor potencia para el mismo consumo o en menor consumo para la misma potencia, aparte del mejoramiento en las condiciones físicas del motor.

Con las gasolinas y motores que se utilizaban en 1929, los rendimientos económicos que se obtenían, comparados con los típicos en los coches y gasolinas hoy normales en Estados Unidos, eran las que se indican en el cuadro núm. 6. Del análisis del mismo se

Cuadro núm. 6.—Variación de las características de aprovechamiento de las gasolinas entre los años 1929 y 1949. (Estados Unidos)

Año	Índice de compresión promedio	Índice de octano promedio	Ton. Km. por litro promedio
1929	5 : 1	58	12
1949	6,88 : 1	80	17

observa cómo gracias al perfeccionamiento de motores y gasolinas se ha podido mejorar el aprovechamiento de éstas en más de un 40 por 100 en un período de veinte años.

CAPÍTULO II

LA CARRERA DE LOS OCTANOS Y SU REPERCUSIÓN EN LOS PROCESOS DE REFINO

La tercera década del presente siglo fué decisiva en la historia de las gasolinas. Durante ella se realizaron los célebres experimentos de Ricardo, que sirvieron para establecer las bases de su comportamiento en los motores y el proceso de detonación de mezclas carburantes, mientras Midgley y Boyd demostraban que la adición de tetraetilo de plomo elevaba el índice de compresión crítico de las gasolinas.

Es muy significativo que mientras los trabajos de Ricardo sobre motores eran patrocinados por la Empresa petrolífera Asiatic Petroleum Company, los de Midgley y Boyd sobre gasolinas se llevaban a cabo

bajo los auspicios de la General Motors, estableciéndose ya entonces el paralelismo de acción y de emulación que entre los fabricantes de motores y los refinadores de gasolina se ha mantenido hasta la fecha para obtener los resultados que venimos exponiendo.

A partir de 1930, se inicia en Norteamérica, primero, lenta y después desenfrenada, la llamada «carrera de los octanos». El concepto «índice de octano» salta al dominio público y empieza en cierto modo a convertirse en aquel país en obsesión colectiva, fomentada en gran parte por los propios refinadores, que organizan una titánica competencia para colocar sus gasolinas en una época en que los productos petrolíferos no eran de fácil venta. La aviación, al mismo tiempo, con su desarrollo comercial y militar, *tirz* de los refinadores pidiendo más y más poder antide-tonante para sus combustibles (1), y todo este cúmulo de circunstancias lleva a la situación inmediatamente anterior a la entrada de Estados Unidos en la II Guerra Mundial, en que parece inminente, aun para autoridades de alto prestigio, la unificación de combustibles entre aviación y automovilismo, a pesar de que aquélla había marchado siempre destacada en sus exigencias.

Afortunadamente, los fabricantes de automóviles, por razones comerciales, se venían manteniendo a prudente distancia detrás de las posiciones avanzadas de los refinadores, ya que ninguno de ellos hubiera osado fabricar un motor que no pudiera alimentarse satisfactoriamente con las gasolinas corrientes en el mercado mundial, y así, en estos últimos años, como veremos más adelante, la curva rápidamente ascendente de los octanos ha podido iniciar en el mercado norteamericano una clara inflexión en su gradiente positivo, que permite contemplar con más tranquilidad los problemas que al desenvolvimiento de la industria refinadora se le hubieran presentado de seguir esta obsesiva carrera que comentamos.

(1) La gasolina utilizada en 1928 por los aviones militares tenía alrededor de 60 de índice de octano. Este valor ya sube a 87 en 1931, para los aviones del ejército norteamericano, con un incremento del 33 % en la potencia de sus motores. En 1939 ya se construyen aviones sólo utilizables con gasolina de 100 octanos, cuya potencia es 25 % superior a los de análogo tipo con gasolina de 87 octanos, mientras el recorrido de despegue se reduce en un 30 % y la velocidad de ascensión se mejora en un 40 %. Al mismo tiempo se consigue una disminución en el consumo de 350 litros por 1.000 kms., incrementándose en siete pasajeros la capacidad en los aviones comerciales.

En términos generales, la producción de gasolina-base de alta calidad es difícil técnica y económicamente. Este es un principio que debe tenerse siempre muy presente. Hasta que los procesos de «cracking» térmico comenzaron a utilizarse en escala comercial, el único procedimiento conocido para mejorar las cualidades antidetonantes de las gasolinas estribaba en despojarla de sus fracciones más pesadas, rebajando su densidad en la destilación hasta obtener un corte cuyo resultado fuera experimentalmente satisfactorio en los motores (1).

Ya este sistema, por el cual, aunque inconscientemente, se elevaba el índice de octano, originaba una disminución en los porcentajes útiles de gasolina en incremento de los de keroseno, que si en aquella época, en que éste era de fácil venta, no constituía un grave inconveniente, ya parecía anunciar que toda mejora en la calidad de los combustibles ligeros había de hacerse a costa de su rendimiento sobre el crudo.

CAPÍTULO III

LOS PROCESOS DE CONVERSIÓN MOLECULAR

El "cracking" y el reformado térmico.

En el segundo decenio del presente siglo surgió el «cracking» térmico en escala industrial, cuya ventaja originalmente fundamental residía en que con su aplicación a las fracciones pesadas del petróleo se conseguía su conversión parcial en gasolina. Ya el contenido original de los crudos empezaba a no ser suficiente para cubrir con comodidad las demandas del mercado, considerablemente reforzadas por la I Guerra Mundial. Antes de que el uso del «cracking» se ex-

(1) Así ocurría que en los primeros lustros del automovilismo, las especificaciones oficiales para las gasolinas en los países que las poseían, no pasaban de una limitación en el valor máximo o mínimo de la densidad, y eran raras las que hacían referencia a las características de destilación. Solamente en julio de 1918, el Gobierno de Estados Unidos, bajo el mandato del Presidente Wilson, dió los primeros pasos para la promulgación de unas normas oficiales, las cuales fueron formalizándose en los meses subsiguientes. De ellos se derivaron por sucesiva evolución las actuales Especificaciones Federales que, junto con las A. N. (Army Navy) reglamentan en Norteamérica las calidades de los combustibles, por las cuales se rigen otros muchos países. En Europa, en realidad, no existe ninguna reglamentación nacional completa, aparte de algunos casos aislados, como Bélgica y algún otro país.

tendiera, ya cerca de 1920, la mayor parte de los refinadores comenzaron a elevar la densidad de la gasolina para obtener mayor rendimiento de los crudos. Los resultados en la marcha de los motores fueron, naturalmente, deplorables, y en gran parte, sin duda, se debe a este hecho el que los estudios de Ricardo se llevasen a cabo, y aquel proceso, que desde su descubrimiento, hacia 1860, no había tenido más que el carácter de experimento de laboratorio, pasó a desempeñar un primordial papel unos años después de sus primeras aplicaciones comerciales, en 1910.

Por otra parte, al ir aclarándose ideas sobre los fenómenos de detonación con los experimentos de Ricardo y concretarse la importancia que éstos tenían sobre el comportamiento de las gasolinas, pronto quedó determinada la mejor disposición de las gasolinas de «cracking» para soportar índices mayores de compresión (1).

Sin embargo, las instalaciones necesarias para el «cracking» térmico eran costosas de primera instalación y mantenimiento y, lo que era peor, producían pérdidas volumétricas en gases y coque cercanas al 10 por 100 sobre el crudo. Además, las gasolinas obtenidas en el proceso precisaban un drástico tratamiento con ácido sulfúrico para hacerlas incoloras y transparentes como entonces era uso y norma, y este tratamiento producía nuevas pérdidas y encarecía el producto. Todo esto no fué obstáculo para la adopción rápida del «cracking» térmico en las refinerías americanas. Con ser importantes estos inconvenientes, sus ventajas fueron tan evidentes, que el proceso acabó imponiéndose, y puede decirse que a mediados de la

(1) Las gasolinas de «cracking» no fueron aceptadas sin discusión desde el primer momento. En 1919, en una Memoria del «Bureau of Mines» norteamericano, se decía: «Las gasolinas de «cracking» son similares a las de destilación normal en algunas de sus propiedades físicas y químicas, pero difieren de ellas en su contenido variable de hidrocarburos no saturados. La utilidad de estos constituyentes no ha sido todavía completamente determinada».

«Parece que sus ventajas y desventajas se contrarrestan mutuamente y no es prudente todavía hacer predicciones sobre hasta qué extremo los productos de «cracking» de alto grado de insaturación podrán ser satisfactoriamente utilizados para el consumo general.»

«Hasta ahora, sin embargo, estos productos vienen siendo vendidos en forma de mezclas que resultan perfectamente satisfactorias y que generalmente se utilizan sin constancia de que contengan gasolina de «cracking».

Como complemento de esta información mencionaremos que en el año 1923 todavía alguna entidad comercial y refinadora norteamericana anunciaba a toda plana en favor de sus gasolinas, que éstas no contenían productos de «cracking».

década 1920-1930 no se construía en Estados Unidos una sola refinería de nueva planta que no estuviese dotada de su correspondiente unidad de «cracking». Al mismo tiempo, se procedía a la modernización, por el mismo procedimiento, de las refinerías ya existentes.

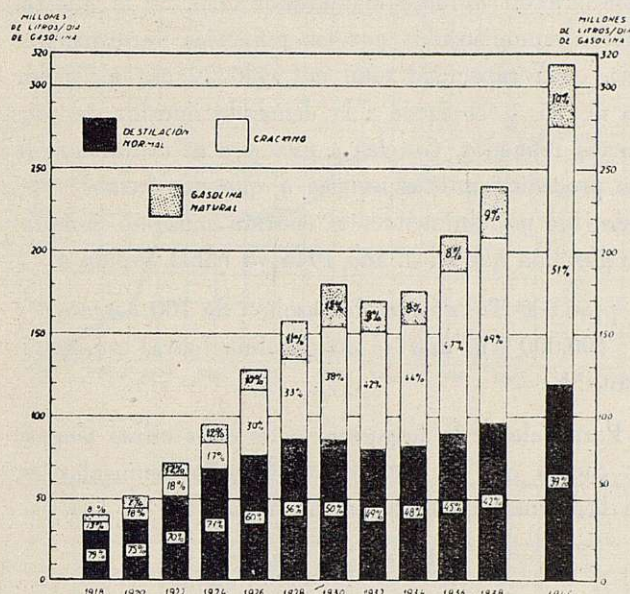


Gráfico núm. 7.—Expansión del «cracking» térmico en Estados Unidos desde inmediatamente antes a inmediatamente después de la II guerra mundial. (Según Holaday y colaboradores.)

Europa, entre tanto, con su desfase habitual de dos lustros respecto a la industria refinadora norteamericana, seguía con sus gasolinas de baja densidad y alta volatilidad, a las cuales, a lo sumo, mezclaba benzol y alcohol en proporciones variables, consecuentes con la peculiar economía de cada país. Éstas eran, evidentemente, soluciones dispendiosas y técnicamente defectuosas. Solamente a partir de 1930 los refinadores europeos comienzan a instalar unidades de «cracking» en sus refinerías, a lo cual contribuye en gran parte la perfección que en este tipo de unidades se va consiguiendo por parte de los proyectistas y constructores norteamericanos, que prácticamente tienen la exclusiva de estas instalaciones.

Por otra parte, la muy importante objeción que a los procesos de «cracking» podía hacerseles, basada en las pérdidas de gases que llevaban consigo, es parcialmente contrarrestada al hacer asequibles a todos los refinadores las unidades de polimerización catalítica, que recuperan en forma de gasolinas de alto octano

una parte muy importante de los gases de «cracking». Al mismo tiempo, entra en una fase de gran desarrollo el proceso de reformado térmico de gasolinas de bajo octano, todo lo cual hace que durante unos años el reinado de los procesos de descomposición molecular por el calor se extienda y se afiance en la industria refinadora del mundo entero.

Los procesos catalíticos.

Sin embargo, todos estos procesos térmicos seguían presentando inconvenientes no fácilmente subsanables que, a pesar de sus indiscutibles ventajas, los hacía ser considerados como no totalmente satisfactorios. En primer lugar, el hecho de tener que operar a las presiones y temperaturas habituales en las unidades de «cracking» y reformado térmico ya era y es un factor indeseable (1). Además, sus gasolinas, aun claramente superiores en calidad a las de destilación normal, no pueden cualitativamente pasar de ciertos límites, que ya eran cortos para lo que el consumo había de pedir en seguida, y, en vista de ello, Norteamérica, marcando, como siempre, una posición avanzada y revolucionaria en estas cuestiones, considera ya superados en cierto modo los procesos térmicos, y a partir de 1940 se lanza a la comercialización de una serie de procesos de conversión catalítica de hidrocarburos, que hasta entonces mantenía en sus laboratorios, y en sus plantas-piloto, y fué entonces cuando la ecuanimidad de los refinadores comienza a tambalearse ante un espectacular alud de nuevos procesos industriales, que, sobre todo a las pequeñas Empresas, llenan de preocupaciones y confusión. Las moléculas de gasolina de alto octano se elaboran materialmente como piezas mecanizadas, siempre girando alrededor de la molécula tipo del iso-octano, y entre una gran confusión de ideas pasan los años de la guerra, en la cual todo técnico de la industria sueña con un maravilloso futuro de procesos de cracking» catalítico, alcohilación, isomerización, hidrogenación, deshidrogenación, hidroformado y tantos y tantos otros, que llegaron a constituir una auténtica psicosis para el refinador, deseoso de mantenerse al día en su técnica y en su economía.

(1) El reformado térmico eleva el bajo índice de octano de las gasolinas pesadas, someténdolas a temperaturas de descomposición molecular en instalaciones adecuadas, análogas a las de «cracking» de aceite pesado.

Afortunadamente, esta situación, fomentada en gran parte por una universal mentalidad que pudiéramos llamar de guerra, se empieza a aclarar rápidamente con la llegada de la paz y con la reconversión de las industrias, y del semicaos de procesos a que hemos hecho referencia, surge una serie de principios suficientemente concluyentes que permiten mantener unas directrices generales, adaptables en cada caso a las características y magnitud de cada país y de cada entidad refinadora.

Actualmente se puede considerar que el único de estos procesos modernos que ha quedado definitiva y económicamente consagrado, es el «cracking» catalítico. Sus primeros inconvenientes desde el proceso Houdry de catalizador fijo hasta los modernos sistemas de catalizador flúido, esferoidal y análogos, han ido uno tras otro salvándose con ingenio y estudio y hoy puede decirse que la única objeción que en Europa puede hacerse a estos procesos, es que sus instalaciones son costosas y han de pagarse en dólares, lo cual, sobre todo para el refinador independiente e íntegramente nacional, no es hoy inconveniente pequeño, sobre todo si a su país no le alcanzan al menos algunas salpicaduras del Plan Marshall.

La brusca aparición en escala industrial de los procesos antes mencionados, no fué, naturalmente, un fenómeno caprichoso. Su determinante principal fué la acuciante necesidad de producir a cualquier precio las ingentes cantidades de gasolina de alto octano que la guerra necesitaba, y así, las plantas de alcoholización y sus auxiliares de isomerización se extendieron junto con las de «cracking» a través de toda la red de refinerías de Estados Unidos, lo cual permitió a los ejércitos aéreos de los aliados disponer de cantidades enormes de gasolina de 100 octanos. Este hecho y su importancia en el resultado de la II Guerra Mundial, todavía no se ha ponderado lo bastante.

CAPÍTULO IV

REPERCUSIÓN DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL EN LA CALIDAD DE LAS GASOLINAS

Quando llegó la paz se encontró con un estado de cosas en el panorama mundial de la industria refinadora de petróleo completamente dislocado. Las úni-

cas refinerías salvadas de la devastación bélica eran las del continente americano y las de Oriente Medio, aparte de algunas de pequeña importancia situadas en países neutrales. La casi totalidad de las gasolinas y demás productos del petróleo que en el mundo se consumieron durante los últimos años de la guerra, fueron suministrados por las refinerías norteamericanas, cuya capacidad total en 1938/39 era alrededor de un 15 % superior a la demanda interior de productos refinados. Gracias a esto y a la utilización de los procedimientos especiales a que nos hemos referido, fué posible atender al enorme consumo mundial de gasolina que en el año 1945 ya había subido a:

¡¡56.000 Tn. *diarias* de gasolina de 100 octanos; y
190.000 Tn. *diarias* de gasolina para automovilismo!!

Para valorar la importancia de estas cifras téngase en cuenta que el consumo de España peninsular es, en las actuales circunstancias, unas

410.000 Tn. *anuales*.

Un 20 % aproximadamente de la gasolina que Estados Unidos producía en 1945 se obtenía por procedimientos catalíticos, y se dedicaba casi exclusivamente a la fabricación de gasolina de 100 octanos para aviación. El precio de coste de esta gasolina era entonces un factor secundario en la economía de guerra.

La experiencia demostraba que los nuevos procesos, al dar resultados altamente satisfactorios en lo que a calidades se refería, eran caros bajo todos los aspectos. Sin embargo, se esperaba que los fabricantes de automóviles se lanzarían en la postguerra a la fabricación de supermotores capaces de utilizar eficientemente gasolinas de 100 octanos, que justificaran por su economía su mayor precio de venta. Esto, en realidad, no ocurrió así, y si bien, como puede verse en el gráfico núm. 8, a principios del año 1946 el automovilista medio norteamericano se encontró con la agradable sorpresa de que en los surtidores le entregaban por el mismo precio una gasolina con cuatro puntos más de octano, respecto a la que recibía en 1945; pronto se le hizo comprender que el camino emprendido no había de mantenerse paralelo a sus esperanzas, y así ocurrió que la línea de tendencias de los octanos comenzó a sufrir las alternativas que en el citado gráfico núm. 8 se aprecian claramen-

te. En él puede verse, tomando la línea correspondiente al índice de Octano Método Motor de la gasolina corriente, cómo en el año 1941 se había llegado a un tipo medio de 74,5 octanos, y cómo a partir

mo está ya constituido por componentes catalíticos, en contraste con los años inmediatamente anteriores, en que estas gasolinas estaban constituidas exclusivamente por productos de procesos térmicos.

En el primer año de paz comienza a comprobarse que, debido en primer lugar a que la industria de fabricación de automóviles no se rehace con la facilidad que se esperaba, a que los modelos que presentan van dotados de motores sensiblemente iguales a los de anteguerra, y a que los procesos de producción de isooctanos sintéticos son antieconómicos, es preciso revisar las ideas fantásticas que se tenían respecto a las gasolinas de postguerra, y entonces la esperada meteórica alza de los octanos se pliega a

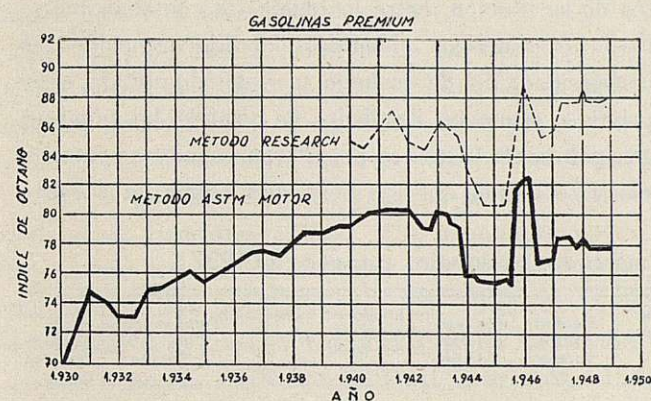
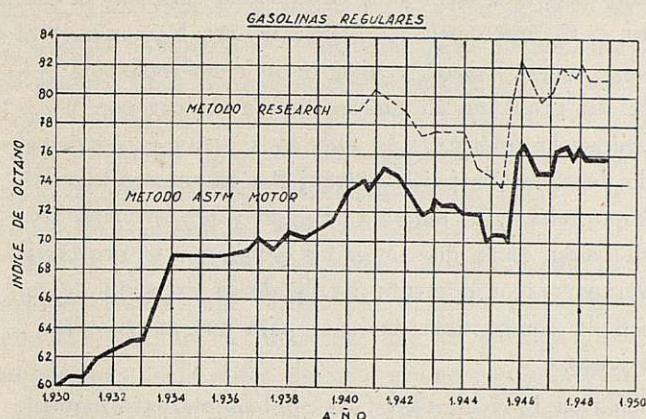


Gráfico núm. 8.—Tendencias del valor antidetonante de las gasolinas en Estados Unidos.

de entonces, coincidiendo con el aumento en la demanda de gasolinas para autos y aviones producido por la guerra, la calidad comienza a bajar, siguiendo por este camino hasta el final del conflicto, en que alcanza el tope mínimo de 70 octanos, igual al que dió el año 1938. A principios de 1946 se eleva bruscamente a 74 octanos, y alrededor de este valor se mantiene todo el año. Esto se produce al quedar sin mercado una gran parte de la producción de isooctanos sintéticos que se utilizaban para la composición de las gasolinas de 100 octanos, y al dedicar a las gasolinas para autos una buena parte de los productos de «cracking» catalítico que se venían utilizando para las de aviación. Así ocurre (gráfico núm. 9) que en el año 1946 un 35 % de las gasolinas de turis-

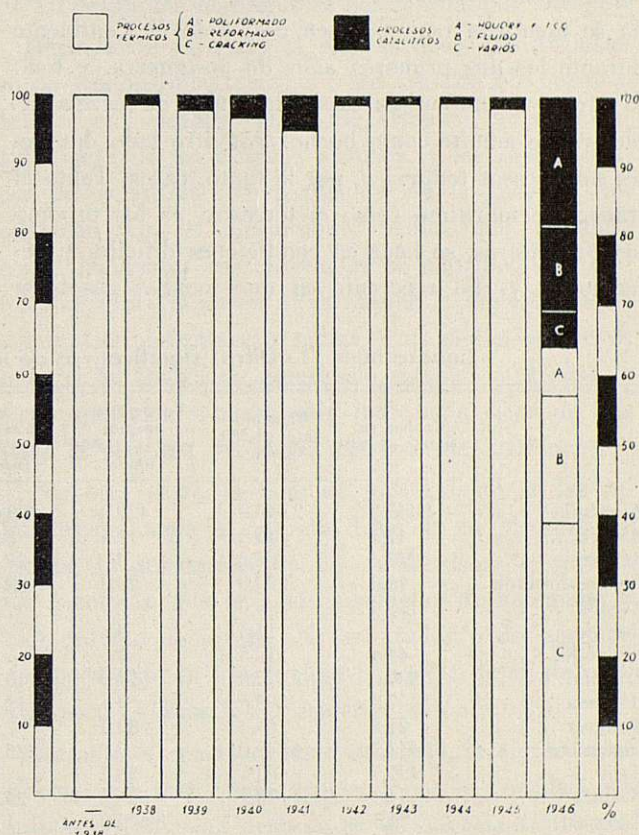


Gráfico núm. 9.—Expansión del «cracking» en los Estados Unidos desde inmediatamente antes a inmediatamente después de la II guerra mundial. (Según Ho'aday y colaboradores.)

una pendiente más suave que lleva a los índices 80,4 y 76,4 que se han registrado como promedios para las gasolinas «Premium» y corrientes en Estados Unidos durante el verano de 1949.

CAPÍTULO V

LOS COMBUSTIBLES PARA MOTORES EN EUROPA

En Europa entre tanto el panorama es bien distinto. La totalidad de los automóviles en uso en 1945 son modelos anteriores a 1940. Esto, unido a que en el mercado de este Continente no existe la competencia comercial corriente en Norteamérica, competencia que, por otra parte, sería difícil que se produjese con casi todas las refinerías europeas destruídas, hace que el gran público permanezca ajeno al problema de la calidad de las gasolinas, tan insignificante y leve, frente a tantos de primera magnitud como aquejan entonces al europeo medio. La gasolina se mantiene racionada en casi todo el Continente durante los dos primeros años de postguerra, y todo lo que en un motor sea capaz de actuar de mezcla explosiva, se admite como bueno. Por otro lado, los fletes son escasos todavía y, por lo tanto, caros. Tanto el transporte marítimo como el terrestre de los productos petrolíferos, se hace en condiciones difíciles y defectuosas, y ello repercute en que muchas gasolinas

que salen de las refinerías perfectamente dentro de las especificaciones, llegan al consumidor en mal estado.

El problema de los combustibles líquidos ya era antes de la guerra una enfermedad crónica en Europa. El único país no deficitario era Rumania, y si bien, mejor o peor, venían resolviendo todos los países su problema en una economía de paz con pocas trabas, la preocupación que en sí traía la necesidad de depender de países extranjeros en un capítulo tan importante, y el temor a la guerra que se venía presintiendo, hacía que todos los Gobiernos se preocupasen en mayor o menor escala de la creación de un soñado combustible nacional para sus automóviles y aviones.

Ya en 1937 un 18 % del combustible para motores consumido en Europa estaba constituido por productos de sustitución, entre los cuales se contaban hidrocarburos sintéticos obtenidos por hidrogenación del carbón u óxido de carbono, gas de alumbrado comprimido, alcoholes, destilados de pizarras bituminosas, gas pobre, etc. Estos recursos eran tremendamente caros y se estima que en dicho año obligaron a Euro-

Cuadro núm. 7.—Cifras significativas de los mercados nacionales europeos en 1937

	Coches en rodaje : 1.000	Consumo total : 1.000 Tn/año	Producción propia crudos : 1.000 Tn/año	Producción de carbón : 1.000 Tn/año	Alcohol : 1.000 Tn/año	Benceno : 1.000 Tn/año	Hidrocarburo sintético : 1.000 Tn/año	Destilado pizarras : 1.000 Tn/año	Total substitivos : 1.000 Tn/año	% Substitivos
Alemania	1.445.7	2.640.0	420.0	208.045	210	430.0	800.0	—	1.440	54.5
Austria... ..	47.4	146.3	4.5	3.141	2.3	8.2	—	—	10.5	7.2
Bélgica	220.4	408.8	0	27.876	—	36.7	—	—	36.7	9.0
Checoslovaquia...	95.0	220.0	25.0	28.432	50.6	12.0	—	—	62.6	28.5
España	125.0	345.0	0	7.320	—	—	—	—	—	—
Estonia	—	14.3	0	—	—	—	—	7.3	7.3	51.9
Finlandia	44.4	112.5	0	—	—	0.2	—	2.7	2.9	2.6
Francia... ..	2.200.0	2.827.0	72.0	46.146	153.4	90.0	13	1.5	247.9	8.8
Holanda	147.8	392.6	0	12.893	—	10.8	—	—	10.8	2.8
Hungría	21.2	69.1	80.0	7.932	10.5	3.1	—	—	13.6	19.7
Inglaterra	2.411.3	4.840.0	0	228.990	16.0	230.0	120	26.0	392.0	8.1
Italia... ..	429.7	483.5	20.3	988	37.0	—	—	—	37.0	7.7
Polonia	34.3	98.2	525.0	29.768	7.9	10.0	—	—	17.9	18.3
Rumania... ..	26.5	—	8.600.0	1.928	—	—	—	—	—	—
Rusia	514.4	2.800.0	27.000.0	81.000	—	—	—	—	—	—
Suecia	192.7	503.2	0	424	15.2	0.5	—	—	15.7	3.1
Suiza	—	203.9	0	—	—	3.0	—	—	3.0	1.5
Inglaterra... ..	14.6	30.2	0	4.476	3.8	—	—	—	3.8	12.6

NOTAS.—En Letonia y Lituania, el 17.8 y el 22.7 %, respectivamente, del consumo de combustibles para motores fué cubierto por alcohol y destilados de pizarras.

En España se utilizaron cantidades poco apreciables de alcohol y destilados de pizarras, sin sujeción a una norma.

INFORMACIÓN RECOGIDA POR EL DR. GUSTAV EGLOFF EN 1939
PARA EL "COMMITTEE OF MOTOR FUELS" DEL A. P. I.

pa a un gasto de 235.000.000 de dólares más de lo que hubiera costado la gasolina equivalente. Sin embargo, el gasto se hacía en las respectivas monedas nacionales, y se daba por bien empleado. En 1938 el consumo de combustibles autárquicos ya subió a un 25 %, valor que no sabemos a qué cifra se elevó en la Europa dominada por Alemania, pero que se supone alcanzó unas proporciones inconcebibles unos años antes.

En el cuadro núm. 7 (1) se presentan con el máximo detalle las cifras características del mercado europeo de combustibles para motores en 1937.

En él puede verse el enorme esfuerzo hecho por algunos países para valerse por sí mismos, esfuerzo que fué máximo en Alemania, que ya en aquel año nutría más de la mitad de su consumo con substitutivos; proporción que, de no haberse producido los acontecimientos de todos conocidos, hubiera llegado hoy a una cifra inverosímil.

Es digno de hacerse notar cómo los tres pequeños países nórdicos, Estonia, Letonia y Lituania, obtenían una parte considerable de su combustible por medios autárquicos. El uso del alcohol como substitutivo parcial de la gasolina, fué declinado en los años inmediatamente anteriores a 1939, pues en aquella época de intensa preparación bélica las industrias de guerra en que tiene un gran campo de utilización como disolvente, empezaron a reclamar grandes cantidades de este material. Durante toda la II Guerra Mundial el alcohol dejó de utilizarse para estos fines, y solamente al terminar ésta algunos países han vuelto a su empleo contándose entre ellos los siguientes:

SUIZA, en sus gasolinas de inviernos (mezcla al 20 %).

SUECIA (hasta el 25 %).

(1) Aun cuando España no figura en este cuadro como consumidora del alcohol para estos fines, debe recordarse que coincidiendo con épocas de superproducción de alcohol etílico, se hicieron ensayos de cierta importancia para su utilización mezclado con las gasolinas en proporciones variables. A este propósito se recuerda que en el Real Decreto que creó en nuestro país el Monopolio de Petróleos, ya se preveía como una de las misiones de éste «adquirir alcoholes nacionales para fabricación de combustibles líquidos, por medio de su mezcla con gasolinas, cuando así convenga a los intereses generales del país y especialmente a la viticultura» (R. D. 22 junio 1927).

También los destilados de pizarras de Puertollano salieron en proporciones muy limitadas al consumo, pero tanto ellos como el alcohol no llegaron en aquella época a tener una influencia apreciable en el mercado español de combustibles para motores.

PARAGUAY (5 % al 25 %).

CUBA (9 % al 12 %).

BRASIL (10 %).

AUSTRALIA (15 %).

ÁFRICA DEL SUR (hasta el 50 %).

También el benzol se vuelve a utilizar, sobre todo en Alemania, Australia y Bélgica.

Todo lo hasta aquí expuesto demuestra que, si bien en América la realidad se viene ajustando, con más o menos desviación, a una serie de hechos previstos y, en general, lógicos, Europa viene luchando desde hace muchos años con una situación tremendamente deficitaria de combustibles ligeros que traen como inmediata consecuencia acusada irregularidad en calidades y precios, factores ambos que se han constituido en pesadillas inseparables del consumidor europeo.

Hasta 1930 raro era el país europeo que dispusiese de combustibles promedio de más de 60 octanos. Incluso el concepto «índice de octano», era desconocido fuera de los círculos técnicos, y las características de volatilidad y destilación de la gasolina, no contaban para el consumidor medio, que aceptaba como incidentes casi normales el martilleo del motor, las dificultades en su arranque y aceleración, la combustión defectuosa y tantas otras molestias que ya para el automovilista americano estaban superadas, y cuya aparición hubiera sido indicación clara de que para la próxima vez debía cambiar de surtidor.

Por otra parte, la falta de uniformidad en las calidades mantenía al automovilista en un inconsciente estado de desconcierto y de agnosticismo respecto a las gasolinas, que le hacía renunciar de antemano a todo intento de ajuste del carburador o del encendido, pues todo lo que hiciese había de dejar de serle útil pocos kilómetros o semanas después.

Durante el cuarto decenio del siglo, la situación en Europa fué mejorando acuciada por la realidad, sin sujetarse a un plan definido en la mayoría de los países, y sólo gracias a la guerra última, que, como todas, ha reportado algunos avances al progreso material de los pueblos, se ha centrado algo la cuestión de los combustibles ligeros en Europa, estableciéndose un ambiente oficial de preocupación por el problema que empieza ya a dar sus frutos, que serán tanto más efectivos cuanto más europeas sean las soluciones que se arbitren.

Gasolinas modernas con coches antiguos y gasolinas antiguas con coches modernos

Ha de analizarse el tan discutido tema del uso de las gasolinas modernas en los coches antiguos y la alimentación de los coches modernos con gasolinas «antiguas», tema que en sus dos aspectos se ha desorbitado mucho en estos últimos años.

En Europa, y más concreta y notoriamente en España, la cantidad de coches anteriores a 1935 que hoy circula es muy importante. En Madrid, por ejemplo, de los 84.000 coches matriculados que hay en abril de 1950, 54.000 ya estaban registrados en aquel año. Estos coches antiguos pueden indudablemente funcionar aceptablemente con gasolinas de 65 octanos, y el hecho de alimentarles con otras que por su constitución molecular tengan mayor poder antidetonante, puede no conducir a ningún fin práctico indudablemente, si bien en ningún caso los perjudicará. En cambio, cualquier coche fabricado después de 1935, está en condiciones, cualquiera que sea su origen, de beneficiarse del uso de gasolinas de un índice de octano del orden de 72/75, por no decir de otras de mayor poder antidetonante menos corrientes en el Viejo Continente. Y aún la mayoría de los coches anteriores a dicho año pueden aprovechar las ventajas de los combustibles de 72/75 octanos, si se hace un debido ajuste del tiempo de encendido y de las proporciones aire-combustible en la mezcla carburante.

Siempre es posible, por tanto, por medio de una buena campaña de asesoramiento al automovilista medio, reducir los consumos nacionales de combustibles ligeros y hacer que los motores en uso en el país se mantengan en mejor estado. Lo primero, por la inmediata reducción en consumo específico que entraña el aprovechamiento del mejor índice de octano, y lo segundo, porque este aprovechamiento permite al motor trabajar en condiciones más suaves y eficientes.

Se puede estimar que en el caso concreto de cualquier país con una población automóvil cuantitativa y cualitativamente análoga a la de España, la unificación del consumo de gasolinas de 72/75 octanos, en lugar de las de 60/65, significaría un ahorro específico de alrededor del 10 %, proporción que iría incrementándose con el tiempo a medida que el número de coches nuevos aumentase y, lógicamente, fuesen desechándose los viejos.

Está demostrado, sin embargo, que aún los coches fabricados en estos últimos años pueden funcionar del 75 al 85 por 100 de su tiempo de crucero normal, con gasolinas de índice de octano varios puntos por debajo de 60, sin que se produzca martilleo en el motor, y que sólo durante el resto de su tiempo es absolutamente preciso un combustible más antidetonante. Recientemente se han hecho unos interesantes ensayos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, en los cuales un camión moderno realizó dos viajes de 1.500 kms. cada uno utilizando exclusivamente gasolina de bajo índice de octano con inyecciones momentáneas de alcohol y agua.

En el primero de dichos viajes se utilizó gasolina de 58 octanos, usándose una mezcla de 85 % de alcohol y 15 % de agua como auxiliar. Esta mezcla se inyectaba automáticamente en el carburador en los momentos de carga máxima del motor, por ejemplo, al subir pendientes, al acelerar o al pasar a otros vehículos. De esta forma se consiguió un resultado práctico análogo al que se habría obtenido usando todo el tiempo gasolina de 74 octanos.

En el segundo ensayo se instaló una nueva culata en el motor que elevó el índice de compresión a 8,25 : 1. Esto hubiera obligado a usar un combustible de 85 octanos. Sin embargo, con uno de 74 octanos y la mezcla alcohol-agua, fué suficiente.

Se ha sugerido por algunos investigadores, basándose en los hechos expuestos y en otros similares, la conveniencia de prever en los coches una doble inyección y un doble depósito de combustible, utilizando dos gasolinas de diferente calidad, alternándolas sobre la marcha según las necesidades del motor. También se han propuesto algunos sistemas análogos al utilizado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, que permitan inyectar separadamente un aditivo antidetonante en el momento oportuno. Tanto unas soluciones como otras son por el momento embrionarias y prácticamente irrealizables en los motores actuales, y por ello se ha de buscar una solución auténtica que sea válida para los países de economía petrolífera dependiente o restringida, a base de la cual la alimentación de sus motores se haga en condiciones técnica y económicamente convenientes.

Pudiera parecer que existe contrasentido en la exposición de hechos fundamentales que acabamos de

nacer. En primer lugar, se habla de las ventajas de utilizar gasolinas de 72/75 octanos en los motores, en lugar de las de 60/65, e inmediatamente después se mencionan experimentos que parecen echar por tierra las afirmaciones anteriores. No es esto así, como veremos, y el propósito perseguido al plantear simultáneamente estas dos posiciones, es el de resaltar, como en el problema que nos ocupa se ha de evitar una excesiva e infundada ambición, ponderando debidamente todos los aspectos que puedan ser económicamente inversos.

No ha de olvidarse que la economía que se obtenga por reducción en consumos específicos al emplear combustibles de superior calidad, no ha de quedar anulada por el incremento en el coste del mismo, y como veremos, las gasolinas de octano superior a 75 son difíciles y costosas de producir en Europa.

CAPÍTULO VI

GASOLINAS ETILADAS

No es posible avanzar más en los temas que venimos debatiendo sin dedicar la atención que corresponde, al procedimiento que la realidad ha demostrado ser el más universal para elevar la calidad antidetonante de las gasolinas, esto es, *la etilización*.

Ya hemos mencionado el descubrimiento realizado por Badgley y Boyd, según el cual, adiciones en proporciones variables de tetraetilo de plomo a las gasolinas, elevan en determinada escala su índice de octano. Esto se verifica según una relación muy variable dependiente principalmente de la constitución molecular de la gasolina base y de la cantidad y calidad de los compuestos de azufre contenidos como impureza en ella. El referido compuesto órgano-metálico se viene utilizando comercialmente desde 1923 en forma «ethyl fluid», o *fluido etílico*, en el cual se presenta asociado al dicloruro y dibromuro de etileno que mejoran su comportamiento al hacer más fácilmente eliminables las deposiciones residuales resultantes de la combustión de las gasolinas *etiladas*.

Se ha dicho que la etilización constituye el procedimiento más barato y sencillo que se conoce para elevar el poder antidetonante de las gasolinas, y ello es una gran verdad que ningún refinador olvida. La

utilización de este procedimiento significa para la economía mundial una cantidad ingente de millones ahorrados cada año, y nunca se recalcará lo bastante el interés que la adición de plomo a las gasolinas tiene en la actualidad.

Es difícil imaginar en qué estado de progreso se encontrarían hoy la aviación y el automovilismo sin la existencia y aplicación de este valioso producto como elemento mejorador de las gasolinas, el cual, desde hace veinticinco años, viene fomentando una supremacía indiscutible, que ha resistido a todos los intentos efectuados para buscar un oponente digno de él.

Su uso, a partir de su descubrimiento, se extendió rapidísimamente en Norteamérica, fomentado sobre todo por las necesidades de la aviación, cuyos combustibles típicos ascendieron más de veinte octanos en un plazo de tres años (de 1928 a 1931), gracias principalmente a la introducción del tetraetilo de plomo en forma de fluido etílico. Las gasolinas para automóviles pasaron en seguida a beneficiarse de las posibilidades de este producto, y ya en 1939 se estimaba que un 50 % de las gasolinas de turismo que en el mundo se consumían eran *etiladas*. En la misma época, más del 90 % de las gasolinas de aviación, lo eran también.

El uso de tetraetilo de plomo en las gasolinas de consumo normal, no fué aceptado sin discusión. Al principio, fué una oposición ciega e inconsecuente del gran público; la misma oposición que se hace a todas las innovaciones que pretenden modificar un estado de cosas ya establecido y cuya justificación no ve la masa con sus propios ojos. La obligación legal de advertir en forma bien patente al consumidor la existencia de plomo en la gasolina y su condición nociva para la salud, ya fué un factor que introdujo un recelo, si se quiere disculpable, en los primeros tiempos del tetraetilo de plomo. Además, el hecho de que la combustión de este producto da lugar a la formación de residuos de distinto aspecto y color que los habituales, y a que éstos residuos, cuando el contenido en plomo de la gasolina es superior a ciertos límites, son más abundantes que el que se produce con las gasolinas no etiladas, unido a algunos deterioros que se observaron en las válvulas de escape y en las bujías de encendido, produjo un estado de

recelo colectivo que originó muchas dificultades a los refinadores y distribuidores; dificultades que en la totalidad de los países que usan con carácter regular las gasolinas etiladas, han ido desapareciendo felizmente.

No vamos, desde luego, a intentar aquí, sin más argumentación, que los inconvenientes achacados a la existencia de plomo en las gasolinas son pura fantasía, ni que su utilización sea la panacea universal y definitiva para resolver en todos los países el problema de la calidad de las gasolinas, y del consumo específico de los motores, pero sí entendemos que la oposición sistemática e irracional que con excesiva frecuencia se hace contra el general uso de las gasolinas etiladas, es una posición equivocada y dañosa para el interés colectivo, la cual en definitiva no hace más que retrasar lo que inevitablemente ha de llegar: *el uso del tetraetilo de plomo en mayor o menor proporción en la totalidad de las gasolinas para automóviles* (1).

La acusación fundamental que se hace a las gasolinas etiladas se basa en determinados efectos de corrosión, que se dice originan en las válvulas de escape del motor y en las bujías. Esto es una verdad a medias. En primer lugar, no ha de olvidarse que desde que el motor de explosión existe, las válvulas de escape han sido siempre uno de los puntos débiles del conjunto, al cual no se ha prestado la debida atención que merece, hasta que con el empleo de las gasolinas etiladas, ha sido ineludible resolver un problema que adquirió el carácter de nudo gordiano. En los coches modernos se han resuelto satisfactoriamente todas las dificultades mediante modificaciones substanciales en el diseño y constitución de las válvulas y sus elementos adyacentes.

En los coches que no están originalmente previstos para el uso de gasolinas con plomo, hay algunos factores muy importantes que tener en cuenta. Si, cuando comienzan a utilizar gasolina etilada, sus válvulas no están en buenas condiciones o simplemente no asientan bien, su deterioro se hace más rápido que con las gasolinas no etiladas. Si el deterioro de la válvula no es muy grave, se suele proceder a su esmeri-

lado, y todos sabemos con cuánta irresponsabilidad se hace a veces esta operación. Si la válvula ha quedado inservible, se substituye por una de recambio, que raras veces es de la fábrica de origen, y se repasa el asiento. En un tanto por ciento muy elevado de los casos, ninguna de estas operaciones se hace satisfactoriamente y, desde luego, prácticamente, en ninguno, la válvula de recambio no obtenida del fabricante del coche, reúne las condiciones necesarias. Quiere esto decir que el uso de gasolinas con plomo en los coches antiguos requiere una labor de mantenimiento algo más cuidadosa de lo normal, pero ello es siempre compensado con creces por las ventajas que pueden derivarse de su utilización.

Cuadro núm. 8.—Índice de octano original y susceptibilidad al tetraetilo de plomo de algunas gasolinas típicas

Crudo de procedencia	Corte	Índice de octano original	Susceptibilidad
Oficina ligero	Aviación	68	1,5
Guario	»	71,5	1,6
Lagunillas	»	72	1,32
Oficina ligero	Turismo	60	1,30
Guario	»	61,5	1,35
Lagunillas	»	61	1,30
Damman (Arabia)	»	45	1,25
» » 	Turismo «cracking»	62	1,00

En cuanto a la acción sobre las bujías de encendido, las dificultades son absolutamente eliminadas si se evita el empleo de marcas dudosas y se utilizan válvulas nuevas y de fabricación actual.

Sea como sea, todos los efectos perjudiciales del plomo están en razón directa del contenido de éste en la gasolina. Si éste no figura en proporción mayor de 0,6 cm³ de tetraetilo de plomo por litro, no debe temerse ningún daño para el motor ni para ninguno de sus elementos, si aquél y éste se mantienen en condiciones mecánicas razonables. Con la citada proporción de contenido en plomo, es posible obtener buenos resultados con la mayoría de las gasolinas, dependiendo, naturalmente, de la susceptibilidad de las mismas a la acción de dicho aditivo. La susceptibilidad de las gasolinas al tetraetilo de plomo es muy variable y depende principalmente de su constitución molecular y de su contenido en azufre. Las gasolinas de «cracking» y las originalmente ricas en olefinas, son

(1) En septiembre de 1949 los únicos países del mundo que no utilizaban gasolinas etiladas para su consumo regular eran: Colombia, Ecuador, Paraguay, Uruguay, las Islas Bermudas y España Peninsular.

menos susceptibles que las de destilación natural. Las gasolina «desulfuradas» tienen susceptibilidad mayor que las que contienen azufre. Por esta última razón tiene gran influencia sobre el índice de octano en las gasolinas etiladas el tipo de tratamiento químico a que se las haya sometido, como se explica más adelante. En

litro. Esta misma gasolina mezclada con la que produce el «cracking» de las fracciones pesadas del mismo crudo, tiene un índice de octano original de 62. Su susceptibilidad es ligeramente inferior a la gasolina de destilación normal, pero de todas formas, mediante la adición de 0,6 cm³ de tetraetilo de plomo por litro eleva su índice de octano a 73.

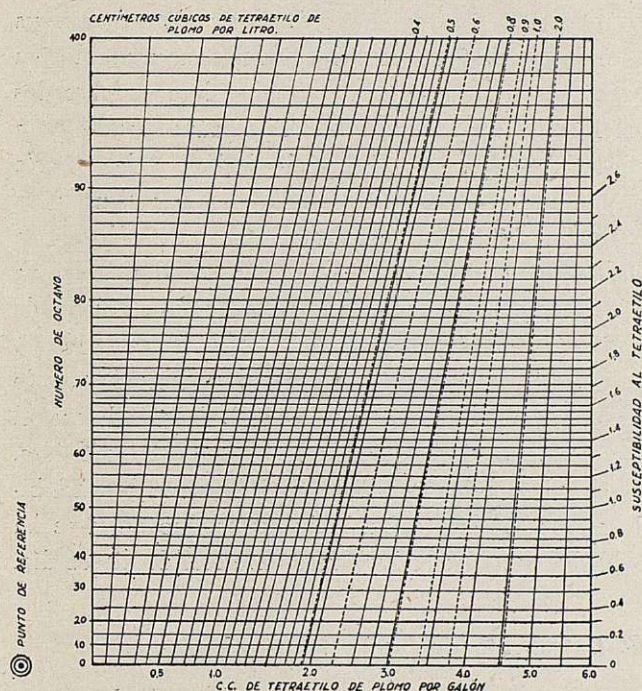


Gráfico núm. 10.—Explicación. Únase el punto de referencia situado junto al margen izquierdo, con el valor correspondiente a la susceptibilidad. Trácese una paralela a la recta así determinada por el punto correspondiente al índice de octano de la gasolina original

el cuadro núm. 8 se dan los valores del índice de octano original de diversas gasolinas, en función del crudo de que proceden. Figura también en él la susceptibilidad de las mismas. Con este valor de la susceptibilidad y por medio del gráfico núm. 10, es fácil determinar el índice de octano que es posible obtener mediante adiciones variables de tetraetilo de plomo. Todas las gasolinas referidas corresponden al corte cuyo final de destilación es de 200° C.

De la utilización de dicho gráfico se desprende que una gasolina obtenida por destilación normal de un crudo «Arabia», cuyo índice de octano original es 45 y que, por lo tanto, es prácticamente inservible para su uso en motores, alcanza los 63,5 octanos mediante la adición de 0,6 cm³ de tetraetilo de plomo por

CAPÍTULO VII

EL TRATAMIENTO QUÍMICO DE LAS GASOLINAS Y SU INFLUENCIA EN SU CALIDAD Y ECONOMÍA

Uno de los capítulos más decisivos en la calidad de las gasolinas es el tratamiento químico a que se las somete para despojarlas, una vez destiladas, de todas aquellas impurezas que afectan perjudicialmente a sus condiciones físicas y organolépticas, o que les imparten una corrosividad que ha de eliminarse antes de lanzarlas al mercado. Estas impurezas pueden originalmente hallarse contenidas en el crudo o pueden formarse en el curso de las operaciones de destilación.

Por lo que a las gasolinas se refiere, los propósitos del tratamiento químico son los siguientes:

- 1.º Eliminar los compuestos de azufre.
- 2.º Neutralizar » » »
- 3.º Mejorar el color.
- 4.º Mejorar el olor.
- 5.º Separar las gomas y materiales resinosos.
- 6.º Aumentar la estabilidad a la oxidación.
- 7.º Quitarles la corrosividad.

Los dos procesos eminentemente clásicos para el tratamiento de las gasolinas eran, hasta hace poco, el contacto con *ácido sulfúrico* y el tratamiento *Doctor* con plúmbito sódico. El primero de ellos mejoraba el color, eliminaba una buena parte de los compuestos de azufre, reducía el contenido en gomas y mejoraba la estabilidad química. El segundo, que normalmente se complementa con lavados con agua y contactos con disoluciones de sosa cáustica, elimina el ácido sulfhídrico, el azufre elemental y los mercaptanes agresivos al olfato.

El tratamiento por ácido

El tratamiento con sulfúrico se ha venido empleando muchos años, no sólo para las gasolinas, sino

también para otras fracciones del petróleo. En los últimos tiempos su uso va decayendo por los muchos inconvenientes que ofrece, ha quedado, en lo que a las gasolinas se refiere, limitado al tratamiento de las fracciones pesadas procedentes de «cracking» cuando éstas han de producirse incoloras, o cuando no existan otros medios para desulfurarlas. Sus inconvenientes fundamentales son:

- 1.º Pérdidas de producto muy elevadas.
- 2.º Corrosiones fuertes en las instalaciones.
- 3.º Elevado consumo de ácido sulfúrico.
- 4.º Disminución del índice de octano de las gasolinas tratadas.

El primero de los inconvenientes citados es el más importante y el que ha hecho que este proceso se vaya substituyendo, cada día en mayor escala, por la adición de inhibidores antioxiógeno a las gasolinas destiladas, cuya sola presencia impide la formación de gomas y resinas, dándoles estabilidad química (1).

La ausencia del tratamiento ácido, aún con la adición de inhibidores, implica una coloración amarillenta más o menos intensa en las gasolinas de «cracking». Este es un factor que no tiene intrínsecamente importancia alguna. Durante muchos años el público ha consumido gasolinas incoloras porque así se las suministraban, sin que para ello existiese ninguna razón ineludible, y es triste que para conseguir tan insignificante objeto, haya el mundo derrochado millones y millones de toneladas de valiosos hidrocarburos que, en el mejor de los casos, se han utilizado como combustibles de grado inferior.

Las pérdidas de los tratamientos ácidos, no sólo por el tratamiento en sí, sino por la destilación posterior a que obligan, vienen a oscilar entre el 10 y el 14 % de la gasolina tratada (2).

De estas pérdidas, un 85 % aproximadamente se

(1) Algunas gasolinas de alto contenido de azufre precisan, aun con la adición de inhibidores, el tratamiento ácido, pero éste es en este caso mucho más suave.

(2) El tratamiento ácido de las gasolinas de «cracking» originó el año 1946 en la única refinería española entonces en funcionamiento, unas 8.600 toneladas de pérdida de gasolina sobre una producción total de 105.000 toneladas; esto es, un 8,2 %. Estas pérdidas han podido reducirse en la misma refinería durante los últimos años a un 5,15 % mediante mejoras introducidas y un constante esfuerzo de los técnicos, y se considera haberse llegado así al límite mínimo que es posible alcanzar sin la supresión del tratamiento ácido y la utilización de inhibidores. Naturalmente, estos porcentajes no son los mismos para todas las refinerías, pues dependen de la importancia que las operaciones de «cracking» o reformado tengan dentro del proceso total.

recupera en forma de «fuel-oil o diesel-oil» y el resto se pierde irremisiblemente. Si a esto se agrega el consumo de ácido (3), el deterioro de las instalaciones y la pérdida en octanos de la gasolina tratada por destrucción parcial de olefinas y aromáticos, es fácil darse cuenta de lo económicamente indeseable que es este proceso.

Ante estos hechos, los refinadores entendieron ya hace muchos años que debía arbitrarse una solución para evitar este despilfarro y, como de costumbre, los americanos tomaron la iniciativa, aún cuando para ellos el problema de ahorro de divisas y de materia prima no tenía la importancia que hoy tiene para cualquier nación europea occidental. Aprovechando la circunstancia de que las gasolinas etiladas, que ya eran de consumo normal en los mercados, habían de ir obligatoriamente coloreadas, quedó evidenciado lo innecesario del tratamiento ácido a los efectos de decoloración de la gasolina. Quedaba, sin embargo, el factor de la eliminación de los materiales oxidables, y para hacer frente a éste se arbitraron los inhibidores o componentes antioxiógeno de que antes se ha hablado, cuyo uso se hace más universal de día en día.

El tratamiento de "sweetening"

Para el tratamiento complementario conducente a la eliminación del mal olor producido por el contenido en mercaptanes y ácido sulfhídrico y de la corrosividad originada por el azufre libre, se utilizan diversos procedimientos de endulzado o «sweetening», entre los cuales el más extendido es el tratamiento llamado *Doctor*. Este procedimiento, al igual que otros análogos, tiene el inconveniente de que se limita a hacer una transformación de los compuestos de azufre, convirtiéndolos en otros no nocivos que quedan en parte incluidos en la gasolina refinada. La presencia de estos compuestos de azufre remanente en la gasolina, reduce su susceptibilidad al plomo y por ello la tendencia actual en el tratamiento de «sweetening» de gasolinas, es de eliminación, más bien que de transformación de los mercaptanes y demás impurezas, no eliminadas anteriormente por otros procedimientos.

(3) El consumo de ácido sulfúrico oscila alrededor del 2 % en peso de la gasolina tratada y la proporción exacta depende de muchos factores relacionados con la constitución química de la gasolina, del grado de desulfuración que se desee obtener, de la decoloración a que se desea llegar, etc.

Entre estos nuevos procesos se pueden considerar como destacados, el *Unisol* de la Universal Oil Products, que utiliza como reactivos sosa cáustica y metanol, y el *Solutizer*, que utiliza el isobutirato potásico.

También se emplea en bastantes casos la desulfuración catalítica de la gasolina en estado vapor, por el procedimiento Gray, utilizándose arcillas especiales como catalizador, cuyo efecto es relativamente complejo, pues no sólo elimina los cuerpos colorantes y el azufre, sino que también produce ligeros efectos de polimerización que elevan algo el índice de octano original de la gasolina tratada. Este proceso no es económicamente aplicable a las gasolinas obtenidas por «cracking» completo y, en cambio, da resultados satisfactorios para las gasolinas reformadas.

Resulta, pues, que el tipo de tratamiento químico que se haya utilizado para la depuración de las gasolinas es sumamente importante y se refleja inmediatamente en la calidad final del producto obtenido. La tendencia actual más satisfactoria es la utilización de los tratamientos llamados de eliminación y, en ciertos casos, la desulfuración catalítica.

CAPÍTULO VIII

LOS CRUDOS DE ORIENTE Y SU INFLUENCIA EN LA POLÍTICA EUROPEA DE LAS GASOLINAS

En los últimos años ha surgido un factor en la política petrolífera mundial, que está cambiando radicalmente una serie de ideas que ya se habían convertido en clásicas en el campo industrial y comercial del petróleo. Nos referimos al Oriente Medio como zona preponderante en la producción de hidrocarburos naturales. Este hecho ha desplazado lo que pudiéramos llamar centro de gravedad del mundo del petróleo, y con ello, ha trastocado substancialmente el equilibrio de las fuerzas económicas y políticas en que dicho mundo se hallaba asentado hasta hace pocos años.

De todo este complejo problema, cuyo comentario completo estaría aquí fuera de lugar, ha resultado una realidad irrefutable, y es que Europa occidental ha de servirse cada día en más escala de los petróleos de aquella zona para cubrir sus necesidades de combustibles líquidos. Incluso la propia Norteamérica ya ha iniciado la importación de estos crudos, lo cual va haciendo cada vez en mayor escala.

Las gasolinas que estos petróleos de Asia pueden dar por destilación natural, tienen, como todas sus fracciones, un alto contenido en azufre y, además, su índice de octano es francamente bajo, pues oscila alrededor de 45 para la fracción de gasolina normal con 200° de final de destilación. Esto implica un serio problema para todos los países occidentales, pues está obligando a modificaciones substanciales en el tipo medio de refinería que hasta hace pocos años había sido normal en Europa. Hoy es ya imponible que ninguna refinería europea pueda subsistir si no dispone de instalaciones de conversión molecular capaces de producir gasolinas refinadas que, con plomo o sin él, puedan dar el índice de octano-promedio requerido actualmente por los mercados. Esto trae consigo, naturalmente, mayor coste de refino por tonelada de crudo, mayor inversión de capital en las instalaciones básicas y unas pérdidas de materia prima superiores a las que hasta 1940 eran normales en las refinerías europeas (1).

Como contrapartida a lo antedicho respecto a la gasolina, los productos intermedios de estos crudos son de buena calidad. Sus gas y «diesel-oils» poseen un índice de octano francamente bueno. Los lubricantes presentan un alto índice de viscosidad superior a 90 como promedio. Las fracciones lampantes tienen características igualmente buenas después de adecuadamente tratadas.

Los combustibles pesados presentan un punto de congelación teórico relativamente elevado (15° C.). Sin embargo, por su carácter sumamente parafínico se descomponen parcialmente con facilidad a temperaturas relativamente moderadas, y así, el «fuel-oil» obtenido por destilación normal no suele en la práctica congelarse por encima de los 5° C.

Sea como sea, la destilación no destructiva de estos crudos es solamente aconsejable cuando se los ha de utilizar principalmente para la fabricación de lubricantes o cuando se dispone de gasolinas para mezcla de índices de octano elevados. De no ser así, o bien han de someterse al «cracking» sus fracciones interme-

(1) Inglaterra ha iniciado con buen éxito una interesante política de aprovechamiento de las fracciones pesadas de la gasolina, para la obtención de productos químicos sintéticos por medio de procedimientos catalíticos (Proceso Catarole principalmente). Con ello se da una salida económicamente interesante a las naftas de bajo octano, y se pueden ofrecer al mercado gasolinas más ligeras, con mejor calidad.

días, o bien han de reformarse las fracciones pesadas de la gasolina.

Con estos crudos es sumamente aconsejable la desulfuración de las gasolinas. Todos ellos son corrosivos en mayor o menor grado, y provocan fuertes desgastes en las instalaciones de fabricación, cuando no están adecuadamente preparadas. El tratamiento químico de sus gasolinas y kerosenos es costoso.

En general, son crudos de bajo precio. En cambio, su transporte a las refinerías de Europa occidental es caro y seguirá siéndolo hasta que el gran oleoducto transarábigo, hoy en construcción, quede en servicio.

De todas formas, su refinado es, en las circunstancias actuales del mercado internacional, suficientemente provechoso, si se lleva a cabo en condiciones adecuadas: las fundamentales son:

a) Utilización de procesos de transformación molecular (cracking) térmico o catalítico de las fracciones intermedias, reformado de las fracciones pesadas de la gasolina, polimerización de los gases no saturados, etc.).

b) Ajuste del índice de octano de las gasolinas terminadas por medio de la etilación.

c) Eliminación del tratamiento ácido o al menos reducción del mismo a un mínimo, mediante la utilización de inhibidores antioxiógeno.

d) Protección de las instalaciones contra la corrosión utilizando para su construcción los materiales especiales aconsejables en cada caso.

CAPÍTULO IX

OTROS MOTORES PARA OTROS COMBUSTIBLES

El problema de la calidad antidetonante de las gasolinas puede desde luego resolverse por medio de recuros inmediatamente conducentes a su mejora, como son los que en capítulos anteriores se han comentado, pero también existen otros procedimientos para abordarlos.

Estos consisten, en general, en la utilización de motores en los cuales dicha calidad de combustible tenga importancia secundaria, nula e incluso inversa. De los motores ligeros actualmente en suficiente estado de funcionamiento, el único que está en condiciones de competir con el de gasolina es el motor Diesel.

El motor Diesel

Sus ventajas e inconvenientes son de todos conocidos y no es procedente extenderse en su análisis o enumeración. Sin embargo, es conveniente recordar que su economía le hace especialmente interesante para su utilización en Europa, no sólo para vehículos pesados, sino también para automóviles de turismo. Actualmente alguna marca alemana de prestigio se apresta a nutrir grandes zonas de sus mercados con tipos de turismo dotados de motor Diesel.

Los crudos de Oriente Medio se destacan, como se ha dicho, por la alta calidad de sus productos intermedios, dando «gas-oil» y «Diesel-oils» de elevado índice de octano, especialmente adecuados para motores muy revolucionados, y es de esperar que en el futuro se señale día a día una mayor tendencia de los fabricantes europeos a construir coches ligeros dotados de motores de combustión.

El motor de reacción

Los motores de reacción, a su vez, se abren amplio y prometedor horizonte, con perspectivas más inmediatas en el campo de la aviación.

En el perfeccionamiento de los de reacción libre o de chorro, marcha Inglaterra a la cabeza del mundo, porque ha dedicado a su estudio la mayor atención en virtud precisamente de las dificultades en que el Reino Unido se encuentran para disponer autónomamente de gasolinas de avión de 100 y más octanos.

La turbina de gases.

Como variante del motor de combustión continua, la turbina de gases es utilizable con una gama muy amplia de combustibles, independientemente del valor antidetonante de los mismos. Es digno de hacerse notar que si bien Norteamérica presta actualmente gran atención al desarrollo de este motor, este sistema es originalmente europeo. Es Suiza uno de los países que en mayor escala han contribuido a su realización.

Un nuevo motor de explosión

Los americanos por su parte, y por razones diferentes a las europeas, estudian constantemente toda clase de procedimientos que puedan eliminar como factor decisivo el poder antidetonante de las gasolinas.

Aparte de la atención que dedican a los turbomotores de combustión en sus diferentes tipos, diversos laboratorios de importancia mantienen permanentemente algunos de sus mejores técnicos e investigadores dedicados al estudio y ensayo de posibles modificaciones substanciales en el diseño del motor ligero clásico.

Recientemente se ha hecho público que Texas Co. ha desarrollado, en sus laboratorios de Beacon, un prototipo de motor que, de llegar a un desenvolvimiento comercial suficiente, podría acabar definitivamente con la carrera de los octanos y, lo que es aún mejor, aprovechar para su alimentación fracciones de los crudos mucho más amplias que las que hasta el momento se han venido utilizando. Este motor sigue usando del ciclo alternativo, y su principal innovación se basa en la introducción en el cilindro de una inyección turbulenta de aire que impide que el fenómeno de la detonación se produzca.

Según las afirmaciones que se han hecho públicas, este motor es capaz de utilizar combustibles comprendidos entre tipos tan extremos como el neptano normal y el iso-octano, cuyos índices de octano son 0 y 100 respectivamente, como es sabido. Igualmente se dice ser apto para consumir metilnaftaleno y cetano, materiales ambos que marcan los puntos extremos en la escala de índices de octano.

De momento, el nuevo motor está en período avanzado de estudio, y se ha construido un prototipo monocilíndrico. Sus promotores indican que si las pruebas que se han de realizar en carretera resultan satisfactorias, se habrá conseguido elevar hasta un 71 % la fracción utilizable como combustible para motores, de los crudos medios.

Todo lo hasta aquí expuesto respecto a posibles innovaciones más o menos profundas de las hasta ahora ideas clásicas que regulaban la construcción de motores ligeros, busca el demostrar cómo todos los caminos para resolver los problemas relacionados con la producción de gasolinas en el mundo entero, son recorridos en estado permanente de alerta y estudio por grandes masas de técnicos y expertos, lo que da idea de la importancia que en sí tienen y de lo trascendental que es la colaboración entre proyectistas y constructores de los motores por una parte, y los refinadores por otra.

CAPÍTULO X

COROLARIO DE CONCLUSIONES

Creemos haber expuesto con suficiente claridad y concreción el tema que al iniciar este trabajo nos habíamos propuesto. Por la complejidad del mismo, ha sido preciso extenderse algo más de lo previsto.

A los iniciados y expertos pedimos perdón si en nuestros comentarios hemos sido excesivamente prolijos, pero vaya en nuestro descargo la convicción de que cuanto se hable y escriba sobre estos temas será siempre escaso, si la magnitud del problema planteado y la necesidad de aplicar inmediatas soluciones al mismo, no alcanzan a cuantos en nuestra gran familia técnica pueden hacer mucho, aun cuando no sea más que simplemente conocer en detalle la situación existente.

A continuación exponemos diversas conclusiones concretas, que consideramos pueden aportar atendibles elementos de juicio a quienes el problema interese.

CONCLUSIONES GENERALES APLICABLES A EUROPA

«En el futuro, ningún refinador que no esté preparado debidamente para fabricar las gasolinas que requieren los motores actuales podrá subsistir económicamente. Todos los elementos responsables, con jurisdicción sobre las políticas nacionales de combustibles líquidos, deben hacerse cargo de que ha llegado el momento de estudiar y dejar establecidas unas directrices a las cuales puedan adaptarse las características de las instalaciones refinadoras, organizando su economía de carburantes, principalmente en los países no poseedores de recursos petrolíferos naturales, en las condiciones más en consonancia con sus posibilidades y problemas típicos.

a) La necesidad de utilizar, con carácter general, gasolinas de un índice de octano prudencialmente elevado ha quedado, a nuestro juicio, suficientemente patentizada en párrafos anteriores.

Para que ello sea posible, ha de admitirse como normal el uso de gasolinas etiladas de por lo menos 70/75

octanos. Simultáneamente y con carácter excepcional, podrían utilizarse gasolinas «Premium» de un índice de octano algo superior, sin que esto de momento sea ineludible.

b) Al mismo tiempo, debe fomentarse la eliminación o suavización de los tratamientos ácidos y, por lo tanto, ha de admitirse el uso de inhibidores antioxidígeno. Se deberán revisar los procesos de tratamiento químico de las gasolinas, fomentando los de desulfuración y substituyendo los de conversión por los de extracción, donde sea posible.

c) En los países que económicamente se encuentren en condiciones para ello y en que su volumen de consumo lo aconseje, es definitivamente aconsejable el uso de procesos de «cracking» catalítico que incrementen el rendimiento en gasolina y eleven su calidad.

d) En los países en que aquello no sea posible, es preciso dar la máxima importancia a los procesos de reformado de gasolinas pesadas o «cracking» total de las fracciones intermedias, bien entendido que ambas operaciones, y sobre todo la primera, no deben hacerse en condiciones excesivamente severas para dejar limitadas las pérdidas de materia prima que en ellas se produzcan al mínimo posible.

e) Será siempre deseable la utilización comercial de los gases producidos en los procesos de conversión, ya sea mediante procesos de polimerización para convertirlos parcialmente en gasolinas de alto octano, ya sea envasándolos en estado líquido a alta presión para consumo industrial y doméstico, o utilizándolos como materia prima para fabricación de derivados químicos sintéticos. En todos los casos, la utilización de estos gases como combustible en las propias refinerías es la solución más cómoda, pero la menos conveniente en el aspecto económico.

f) La utilización de procesos de alquilación, isomerización, hidrogenación, deshidrogenación y otros análogos, conducentes a la síntesis molecular de hidrocarburos de tipo determinado, sólo están justificados en casos muy concretos y han de ser objeto de cuidadosos estudios económicos previos.

g) En los países de climas extremados, debe procurarse establecer como calidades normales dos gasolinas de consumo regular; una de ellas para verano y otra para invierno. Esta última permitirá una más

fácil utilización parcial de los gases producidos en los procesos de conversión.

h) El uso de motores que utilicen el ciclo Diesel es, por el momento, definitivamente aconsejable para vehículos pesados, por lo que se refiere a su economía de combustible y a sus requerimientos menos severos en calidad del mismo. Para los coches ligeros, es de esperar que los próximos años extiendan en escala más o menos limitada la utilización del citado ciclo.

i) La propulsión por reacción y la turbina de gases, junto con todos aquellos motores que puedan ser aptos para ser alimentados con fracciones amplias del petróleo, ofrecen positivas posibilidades, por lo que es política y económicamente interesante su estudio y desenvolvimiento.

j) La reducción de la temperatura final de destilación de las gasolinas de consumo normal puede contribuir a mejorar la situación, siempre que se puedan aprovechar debidamente las colas de destilación que con ello se ocasionan. Una solución prometedora parece pergeñarse en los nuevos procesos de utilización de las gasolinas pesadas como materia prima para la fabricación de productos químicos sintéticos.»

CONCLUSIONES INMEDIATAS APLICABLES A ESPAÑA

«Sin perjuicio de que, por formar parte del Continente europeo, todas las conclusiones anteriormente establecidas atañan más o menos a nuestro país, resultan más inmediatas y específicamente interesantes las siguientes:

a) Normalización del consumo de gasolinas etiladas de índices de octano medios, mediante oficiales normas para la utilización eficiente de las mismas por parte del público. De la ponderación de los diversos factores que en esta cuestión intervienen resulta que el índice de octano normal debería oscilar entre 70/75.

b) Aceptación del uso de inhibidores antioxidígeno para disminuir pérdidas de tratamiento y gastos innecesarios de productos químicos.

c) Establecimiento de especificaciones oficiales para las gasolinas, previo asesoramiento y estudio detenido de la cuestión por parte de las personas y Enti-

dades relacionadas más estrechamente con la producción, refino, distribución y consumo en España y todos los territorios políticamente dependientes de ella.

d) Coordinación de los medios de transporte, de

forma que se evite totalmente la contaminación de la gasolina durante el mismo.

e) Fomento del uso del motor Diesel en los transportes pesados por carretera.»

Al terminar el autor la lectura de su trabajo, se aceptan íntegramente las conclusiones.

Procédese en seguida a la lectura del trabajo núm. 221, que sigue:

N.º 221. - Propuesta de un plan de investigaciones petrolíferas en España

Autor: D. RUPERTO SANZ Y SANZ

Ingeniero de Minas

EXPOSICIÓN

IMPORTANCIA Y OPINIÓN ACTUAL.

Como reiteradamente se ha dicho, el petróleo es una materia prima indispensable para el normal desenvolvimiento de las naciones en tiempo de paz y para su defensa en tiempo de guerra. No insistiremos en este tema, sobre el que tanto se ha escrito y hablado, pues en la mente de todos está, más o menos profundamente arraigado, el convencimiento de la inferioridad que supone la falta de este combustible y de la potencialidad que da su posesión.

Este convencimiento ha penetrado profundamente en el ánimo de los gobernantes de todas las naciones, así como el de que es posible su existencia en toda la serie geológica, desde los primeros sedimentos Cambrianos hasta los Cuaternarios, y, lógicamente, esta última convicción es común en los técnicos especializados y en las Empresas correspondientes; es decir, en el mundo petrolífero. Y es que los hechos así lo han demostrado, unas veces al comprobar conceptos teóricos, como sucedió en Austria, y otras explorando

y perforando en el afán de alumbrar tan deseado combustible, como son ejemplos típicos Alemania, Italia y Francia, por no citar más que las naciones del centro y Occidente de Europa, donde aún no hace muchos años no se creía en la existencia de petróleo en cantidades industrialmente explotables.

INVESTIGACIÓN EN ALGUNOS PAÍSES EXTRANJEROS.

En Alemania los campos de Hannóver son de antiguo conocidos. La investigación se amplió a extensas zonas, especialmente por métodos geofísicos, y ha constituido este trabajo uno de los más minuciosos y perfectos que se han hecho en el mundo. Nuevos campos se descubrieron así, entre los que citaremos el de la región de Ems junto a la frontera holandesa.

En Francia, después de unos sondeos infructuosos en las proximidades de las manifestaciones petrolíferas Gabian, se emprendió la investigación en 1938 de la gran cuenca sedimentaria de Aquitania, entre el Estrecho de Carcassone y el Atlántico. El buen éxito acompañó a los primeros sondeos, descubriendo en 1939 el conocido campo de gas de St. Marcet. Se constituye-

ron poco después tres empresas estatales o para-estatales autónomas con un Consejo Superior común, el Bureau de Recherches de Pétroles; dos de ellas, la Régie Autonome de Pétrole y la Sté. Nationale de Pétrole d'Aquitania, para investigar la cuenca de Aquitania, y la Sté. Nationale de Pétrole Languedoc-Méditerranée, que investiga las regiones de Bezzer, Montpellier, Nîmes y la Camargue (Bajo Ródano).

Pocos resultados favorables han tenido estas investigaciones a pesar de los grandes gastos realizados, para los que el presupuesto del año actual se acerca a los 3.000 millones de francos, hasta que recientemente, a mediados de diciembre de 1949, se ha obtenido en los sondeos Lacq 1 y Lacq 2, al Oeste de Pau, en una amplia estructura que pasa un poco al Sur de esta ciudad, una producción de unos 30.000 litros diarios de petróleo en el 1 y de varios cientos de miles de litros en el 2, a sólo 600 metros de profundidad entre calizas del Cretáceo superior (1). La geofísica descubrió esta estructura.

En Italia los tenaces trabajos de la Sociedad estatal AGIP, culminaron a mediados del año pasado con el descubrimiento de petróleo y gases en la cuenca sedimentaria del Pó. La erupción fué violenta y ha comenzado una activa explotación de estos campos. La geofísica fué aquí también quien descubrió las estructuras soterradas bajo el cuaternario del gran valle.

En el Norte de África los descubrimientos han sido también de gran importancia (Egipto), y las investigaciones en Túnez y Marruecos francés van a tomar extraordinaria importancia, con fuerte intervención de los norteamericanos en Túnez.

Los países centro y sudamericano, ya directamente por el Estado respectivo, ya por convenios con grandes empresas extranjeras, han emprendido el reconocimiento petrolífero de su subsuelo, aun en regiones difíciles por el clima, la falta de comunicaciones y aun por la agresividad de tribus salvajes. Los resultados en gran parte de los casos son conocidos y, con alguna excepción, confirman las convicciones arriba citadas.

(1) La producción potencial del pozo Lacq 2 es de 1.000 m³ diarios. Un tercer sondeo en la prolongación de esta misma estructura ha dado petróleo a 1.200 m. en el Impresense.

REGIONES PETROLÍFERAS ESPAÑOLAS.

En el Norte de España la gran cuenca sedimentaria del Ebro, limitada por el núcleo primario y granítico del Pirineo, por el de la Cordillera Costera catalana, por el macizo ibérico y por la cordillera sedimentaria cantábrica, por un lado, y parte de la cuenca, también sedimentaria, del Duero en las provincias de Burgos y Soria, junto con parte de las provincias de Vizcaya y Santander en la región cantábrica, están jalonadas por indicios petrolíferos, especialmente en los bordes aflorantes, en las proximidades de grandes fallas y diapiros y, en general, en varios lugares donde la erosión ha puesto al descubierto los pisos y tramos inferiores del Mesozoico.

Además, los sondeos, especialmente los efectuados por la CAMPSA en el Valle de Zamanzas (Burgos), han puesto de manifiesto la existencia de niveles petrolíferos característicos, cuyas zonas de mayor concentración esperan aún la barrena de la sonda. Para llegar a este hecho hace falta un plan metódico de investigación, que han iniciado CAMPSA y CIEPSA, primero con grandes estudios geológicos y luego con las sondas. Pero sus medios son pequeños para la gran tarea que hay que realizar, pues, por desgracia, esta complicada técnica y las auxiliares están muy retrasadas en nuestra nación y hay que importar casi todo, hoy por hoy, y además, la Ley de Minas última es también un fuerte obstáculo, y revela desconocimiento de lo que es la minería del petróleo. Gracias al buen criterio de la Sección de combustibles, de la Dirección General de Minas y de los Excmos. Sres. Ministros de Hacienda y de Industria y Comercio, se ha suavizado en lo posible en algunos aspectos, lo que consigno con placer.

Sentamos, pues, el principio de la posibilidad de existencia de petróleo en las arriba citadas regiones, como consecuencia de haberse hallado en formaciones análogas en Alemania y Francia, del concepto universal que hoy domina sobre investigaciones y de los importantes indicios y características geológicas que reúnen tales regiones españolas.

INTENSIFICACIÓN DE INVESTIGACIONES.

Se propone, por todo ello, intensificar las investigaciones iniciadas por las empresas arriba citadas, a un grado de desarrollo tal, que los cuantiosos gastos que

se realizan sean realmente eficaces y lo más breves posible, dentro de las posibilidades económicas de la nación.

Para ello, a juicio del que suscribe, el plan de investigación deberá ser el que se detalla a continuación.

LEY DE MINAS.

1.º Modificación de la Ley de Minas en el sentido de separar de su articulado las disposiciones que a la Minería del Petróleo se refieren, por ser completamente distinta en todos los aspectos de las demás.

NATURALEZA DE LAS INVESTIGACIONES.

En efecto, hay una diferencia esencial y de principio, que caracteriza a la minería en sí, del petróleo, es decir, sin contar el transporte y la transformación; aspectos comunes, además, a todos los productos minerales.

Consiste en que los gastos y trabajos son previos al hallazgo del mineral, y comparativamente reducidos los de extracción cuando éste se ha hallado; condiciones duras que impone la naturaleza de aquél, ya que se trata de líquidos volátiles o gases, más ligeros que el agua y fácilmente disipables al tender a escapar por el empuje de ésta o por efecto de las elevadas presiones que originan dichos gases. Por tanto, el yacimiento está ineludiblemente oculto; es totalmente invisible, de lo contrario no existiría, y sólo se le imagina. El geólogo y el geofísico petrolíferos, sólo pueden decir que en tal o cual estructura geológica existen las condiciones favorables para la acumulación del petróleo, y que en tal lugar debe situarse la sonda. Luego, la labor del primero se reduce al examen de los terrenos que se atraviesan y a ordenar la extracción de testigos y los ensayos de las capas o zonas que por los indicios que presenten por sus características puedan interesar. Su trabajo más importante es, pues, previo. Pero también duro y costoso, porque no se reduce a reconocer una extensión de unos centenares o de unos pocos miles de hectáreas, sino que ha de estudiar con detalle, bajo todos los aspectos, toda una región, generalmente muy extensa, auxiliando la mayoría de las veces por el geofísico; laborioso trabajo que, aun realizado por numeroso personal muy especializado, consume largo tiempo,

cuya unidad es el año, así como la unidad que hay que tomar para los gastos es el millón de pesetas.

Puede decirse que los estudios y trabajos previos de esta amplitud son indispensables, sin lo cual sólo la casualidad daría el buen éxito.

Señalado el lugar del sondeo, hay que tener la sonda, instrumento principal de investigación, con todos sus elementos anexos de laboratorio, talleres, almacén, viviendas, camiones, aparatos de pruebas y testificación. Este material es costosísimo. Una sonda grande para 4.000 metros, con todos los útiles y elementos necesarios para hacer un sondeo, importa hoy unos 800.000 dólares, y una del tipo medio para 2.500 metros, unos 400.000 dólares, en origen. Contando los transportes, caminos e instalaciones, vemos que para una sonda sola la unidad de gastos es la decena de millón de pesetas. Y lo conveniente es disponer de más de una sonda.

De cuanto antecede se desprenden las siguientes preguntas:

PETICIÓN DE PERMISOS DE INVESTIGACIÓN.

Pues que hay que estudiar y hacer grandes gastos antes de empezar a perforar, ¿se pide primero la concesión de la superficie objeto de este estudio con arreglo a la vigente Ley de Minas para evitar que algún otro, bien o mal intencionadamente, lo haga en el curso de estos estudios, en parte o en toda la extensión, y hacer inútiles los gastos y tiempo invertido?, y entonces, ¿qué es lo que se pide si no se conocen aún las posibilidades petrolíferas del subsuelo correspondiente, y cómo justifica la Empresa el enorme gasto que hoy se exige para el pago de la concesión y del canon anual de un permiso de investigación?

Hay que tener en cuenta que en petróleo hay que solicitar siempre grandes extensiones de superficie, no sólo porque los posibles yacimientos son siempre extensos, sino porque hay que tener estudiadas varias estructuras por si una es estéril investigar otra, aprovechando el costoso material adquirido y los estudios realizados, y sobre todo porque no es posible fijar de antemano la posible situación de dichos presuntos yacimientos. Además, la Administración del Estado percibe así un canon sobre un producto que no se sabe si existe o no; cobra de un beneficio donde no hay más que grandes gastos.

Esto no es justo y además frena y entorpece el desarrollo de la investigación.

HECHOS FUNDAMENTALES DE LA INVESTIGACIÓN.

Debe, pues, modificarse esta Ley, teniendo en cuenta:

a) Que las extensiones que exige la investigación petrolífera son de tipo regional y no local.

b) Que no hay petróleo ni gases hasta que la sondea los descubra.

c) Que hasta que tal hecho afortunado se alcanza, transcurren años a partir del momento en que se inician los estudios.

d) Que gran parte de las veces son estériles estos sondeos.

e) Que sin grandes gastos, que alcanzan varias decenas o centenares de millones de pesetas, no puede hacerse una investigación eficaz.

f) Que es de tal interés nacional la investigación del subsuelo, que no admite más objeciones que la clara demostración de la no existencia de posibilidades de buen éxito.

En el transcurso de la exposición que sigue y en las conclusiones, se exponen los términos de la Legislación petrolífera que, a juicio del que suscribe, debe promulgarse.

REGIONES PETROLÍFERAS Y SU DIVISIÓN.

2.º En el territorio nacional se hará una clasificación de Regiones Petrolíferas, para su investigación ordenada autónoma.

El fundamento de esta propuesta es bien claro y sencillo. Nos lo da la geología de nuestro suelo y, dentro de ella, las facies de sus sedimentos y sus cambios.

En el Norte de España, y prescindiendo del Primario, tenemos tres facies bien caracterizadas, especialmente en el Eocretáceo, y hoy muy aproximadamente delimitadas, a saber: la Pirenaica, la Cantábrica y la Ibérica. Las diferencias que definen de un modo llamativo estas tres grandes formaciones se hallan en primer término en el Eocretáceo; en la Pirenaica el Aptense es calizo, francamente marino y reposa directamente sobre el Liásico en los asomos septentrionales de la cuenca central catalana. En la Ibérica toda la parte inferior del Cretáceo es de facies

lacustre, mientras en la Cantábrica dominan el Flysch y las calizas arrecifales del Aptense, y alternan las facies marinas neríticas y litorales con las continentales, con aspecto dominante de las primeras en el Aptense y Albense.

El límite entre la Ibérica y la Cantábrica está señalado por las alineaciones de diapiros triásicos que desde Estella (Navarra) corren hasta el Valle del Mena y cerca de Espinosa de los Monteros (Burgos), y por la divisoria de los Valles de Villacarriedo y del río Pas (Santander) hasta la costa. La separación entre la Ibérica y la Pirenaica es la prolongación hacia el Este del límite anterior a partir de Estella y se oculta bajo el terciario del valle del Ebro hasta la cordillera costera catalana, y va aproximadamente paralela al río y con seguridad al Norte del mismo.

El límite de la Cantábrica con la Pirenaica es la línea de diapiros orientados de Sur a Norte desde Estella a Atondo (Navarra).

La razón de estos límites la da la debilidad cortical que se produce por reducción rápida de espesores o por hundimientos, que coinciden con cambios laterales de facies. Así vemos en la región cantábrica de Santander y Vizcaya, espesores de 6.000 y más metros de Cretáceo inferior en facies Flysch y calizas arrecifales, mientras en la zona de Puerto del Escudo, Villarcayo y Sobrón dicho piso está en facies Wealdense y con un máximo de espesor de 1.200 metros. El cambio es rápido entre ambas franjas y es allí donde brotan los diapiros salinos triásicos con ofitas. No hay duda, pues, de que una línea de costa pasaba durante gran parte del Cretáceo inferior por dicha franja y aproximadamente coincidente con la línea de diapiros.

Cambios de parecida índole ocurren en el Mesocretáceo; la gran transgresión marina cenomanense da origen a sedimentos menos potentes y más costeros hacia el Oeste y el Sur. Son bien marcadas las variaciones laterales y en espesor en el Norte de la provincia de Burgos, lo mismo que ocurre en el Turonense, donde las margas arenosas resultan, hacia el Este, más puras y adquieren espesores extraordinarios, quitando la primacía a las calizas que la coronan, las cuales, de su bravío aspecto en Burgos, pasan al Norte de Álava a ser menos notorias.

Pero ya antes en el Jurásico aparecen estas variaciones en la situación de los mares, y así vemos po-

tentes depósitos marinos y costeros en su afloramiento en la provincia de Palencia, para verlos disminuir hacia el Este, y presentar en su seno episodios costeros silíceos, como se han hallado en el sondeo número 5 de Zamanzas.

Queda, pues, señalada la separación entre las formaciones de facies ibérica y cantábrica con características que ofrecen marcado interés petrolífero.

Los límites con las formaciones pirenaicas quedan definidos, uno, por el contacto de los potentes sedimentos orientales cretáceos con los Eocenos, que desde la zona de Tremp (Lérida) avanzan en una franja recubierta al Sur por el Oligoceno transgresivo de la cuenca terciaria del Ebro. Dicho contacto se verifica precisamente en la línea de diapiros arriba citada que corre de Estella hacia el Norte, pasando sólo hacia Occidente los Eoceno y Oligoceno en los profundos sinclinales. Esto indica un hundimiento hacia Oriente y una disminución de espesores, que producen una línea de debilidad cortical marcada por los diapiros arriba citados. El otro, por la facies pirenaica que se observa al Norte de la cuenca del Ebro y la Ibérica al Sur de la misma. Queda, pues, oculta bajo el recubrimiento terciario de aquella, pero por asomos aislados puede suponerse al Norte del curso del río, aproximándose al borde Sur de las formaciones eoceno-cretáceas.

En la región navarro-aragonesa se observa que el Keuper no existe en los bordes de la zona axial pirenaica, pero aflora en las sierras del borde Sur de aquella franja Eocena. Faltan también el Jurásico y el Cretáceo inferior. El límite es, pues, en esta comarca y durante estos períodos de costas marinas (Jurásico) y lacustres (Triás y Cretáceo inferior) con un continente totalmente emergido. La transgresión cenomanense deja sedimentos costeros irregulares y, luego, en el Eocretáceo, el mar proporciona depósitos más potentes al Norte que al Sur, invirtiéndose la posición de los continentes.

A cambio, al Este de Boltaña, en los límites de Cataluña, comienza el geosinclinal de la cuenca central catalana y aparecen el Keuper, el Lías, el Aptense y el Albense, estos tres últimos de facies marina. El límite en el Cretáceo inferior es de cambio de facies lacustre o marina. En el Cretáceo superior y en el Eoceno persiste la disminución de espesores hacia el

Sur hacia el Este en los límites con la Cordillera Costera Catalana.

Nos resta por citar otra región de Castilla separada geográficamente de las anteriores por la Sierra de la Demanda y por la ondulada llanura de Burgos. Es la comprendida en la provincia de Soria entre la citada Sierra y las últimas estribaciones de la Carpetana, y que forma un geosinclinal cretáceo, en el que la sedimentación es potente entre la capital y la provincia de Burgos, hacia las estribaciones de la Sierra de la Demanda, que disminuyen y llegan a faltar hacia el Sur, de modo que se producen soluciones de continuidad estratigráficas. Las zonas emergidas en el Cretáceo estuvieron, pues, al Sur.

Vemos, pues, que pueden considerarse varias regiones petrolíferas: 1.º Región Catalana, que comprende la cuenca central y la cuenca del Ebro al Sur de aquella. 2.º Región Aragonesa, que ocupa desde el meridiano de Pamplona hasta la anterior y cuenca del Ebro al Sur. 3.º Región Cantábrica, que comprende las provincias de Santander, Álava, Guipúzcoa y Navarra, hasta el meridiano de Estella. 4.º Región Ibérica de Burgos y Logroño, que comprende las provincias de Logroño y Burgos hasta el paralelo de Burgos. 5.º Región de Soria y Burgos, que comprende ambas provincias desde el paralelo de Burgos hacia el Sur.

Además, en el Sur de España hay que considerar las regiones de Alicante y Murcia, la de Andalucía y las de Cuenca y Albacete, bien distintas a las del Norte.

Por nuestros actuales conocimientos, los horizontes petrolíferos se hallan en el Mesozoico y en el Neozoico. Unicamente las regiones del Sur, donde el Mioceno contiene facies marinas, pueden existir en él niveles petrolíferos. En estas regiones del Sudeste coexisten hacia el interior, en las provincias de Cuenca y Albacete, los terrenos miocenos marinos y lacustre, el segundo, superpuesto al primero, lo que ofrece un gran interés.

Por estas razones en España hay dos clases de terrenos: una, la de aquellos donde afloran dichas formaciones mesozoicas y neozoicas, en general montañosas, y otra, donde están recubiertas por el terciario lacustre. Estos son los lagos terciarios de Castilla y del Ebro. La investigación es forzosamente distinta en uno y otro caso. Los resultados son también distintos en el supuesto de la existencia de petróleo. Son

más agudas, más restringidas y más fisuradas las estructuras en las zonas descubiertas, muy plegadas, que en las más tranquilas recubiertas, y, por tanto, éstas podrán contener mayores cantidades de petróleo y gas que aquéllas. Su investigación está sumamente facilitada por la técnica que hoy es auxiliar indispensable en la prospección petrolífera, por el gran progreso que ha experimentado en estos últimos años, es decir, la Geofísica.

MOTIVOS PARA LA PARTICIPACIÓN DEL ESTADO.

3.º Una vez razonada técnicamente la división petrolífera de España, estableceremos las siguientes premisas:

a) Todo esfuerzo en la búsqueda de petróleo que no sea prolongado, es estéril.

b) La investigación es muy costosa y no suele estar al alcance de compañías privadas, al menos, en España.

c) Las importaciones de productos petrolíferos constituyen, por un lado, una sangría en divisas extranjeras, casi exclusivamente de dólares, que hoy en España, con consumo restringido, alcanza una cifra aproximada a 30 millones de dólares, y, por otro lado, los ingresos del Estado por este concepto constituyen una de sus primeras rentas, que se aproximan a los dos mil millones de pesetas anuales.

d) Dichas importaciones en España han alcanzado la cifra anual aproximada de 1.100.000 toneladas, a pesar del régimen restrictivo del consumo actual, sin el cual calculamos que dicho consumo sería hoy de más de millón y medio de toneladas, y en los próximos cinco años nos acercaríamos a los tres millones de toneladas anuales, para cuya adquisición se precisarían cerca de 90 millones de dólares.

Únicamente, pues, el Estado puede en España, lo mismo que en la mayoría del mundo, sostener las investigaciones petrolíferas al ritmo y por el tiempo necesarios para que puedan llegar a ser efectivas, y no sólo por estas razones, sino porque puede hacer este sacrificio sin un gran quebranto para la economía nacional, y también porque es el que recoge el principal beneficio, pues, aparte de la posibilidad de una producción remuneradora de tan preciado combustible, el impulso que recibirían muchas in-

dustrias, proveedoras de materiales, unas, y derivadas, otras, sería tal, que llegarían a transformar regiones enteras de nuestra patria.

Ya en el período de investigación, si es prolongado, se notarían mejoras técnicas importantísimas, principalmente en la industria del acero, aplicables también a otras actividades.

PARTICIPACIÓN DE EMPRESAS PRIVADAS.

Pero esto mismo nos señala otro hecho, y es que esta industria, la del caucho y algunas químicas se benefician grandemente con estos trabajos y, por tanto, podrían interesarse en las investigaciones petrolíferas, aportando medios, naturalmente, en una menor proporción. Por otro lado, las grandes empresas petrolíferas españolas CAMPSA y CIEPSA, las más directamente interesadas, ya llevan años realizando esfuerzos, que por sí solas no pueden sostener en la amplitud y con la persistencia necesarias.

CÁLCULO DE LAS ASIGNACIONES DEL ESTADO.

El Estado debe consignar en su presupuesto anual una partida para investigaciones petrolíferas, de igual modo que para otras no inmediatamente productivas, tales como obras públicas, fuerzas armadas, enseñanza, etc.

Los dos primeros años se invertiría esta suma en prospección geológica y geofísica y en adquisición de material.

Una activa campaña para trazar los mapas gravimétricos de los tres grandes lagos terciarios de ambas Castillas y de la cuenca del Ebro, recubiertos por el Mioceno lacustre; para medir las velocidades de propagación de las ondas explosivas en los distintos lechos y terrenos y para investigar las anomalías que resulten en aquellos mapas gravimétricos, por medio del método sísmico por reflexión, y el correspondiente gabinete geológico-geofísico, costaría unos 2,5 millones de pesetas por equipo y año.

En este cálculo se prevé que los equipos serán extranjeros, que adiestrase a personal español en el manejo de los modernos aparatos y en la manera de efectuar la prospección petrolífera. Se adquirirían al propio tiempo dichos gravímetros y sismógrafos con sus ele-

mentos auxiliares de sondas cortas, camiones y coches. El coste de adquisición de un equipo completo de gravimetría y de sismógrafo es de unos 2.300.000 pesetas.

Las sondas para estudios y exploraciones de tipo hasta 1.500 m. de profundidad, transportables, cuestan unos tres millones de pesetas, y las sondas hasta 4.000 metros, 23 millones de pesetas, incluyendo todos los elementos necesarios para un sondeo a la máxima profundidad que puede alcanzar la sonda.

El coste de perforación con la sonda pequeña es de 1.000 a 2.500 pesetas por metro, según las condiciones del terreno, la forma de trabajo y la profundidad a que se llegue, sin incluir gastos generales ni amortización de la sonda.

El de una sonda para 4.000 m. es de 2.000 a 3.500 pesetas el metro en las referidas circunstancias.

A esto hay que agregar los gastos generales de dirección y administración, formación de personal, de transportes, etc., y las instalaciones de talleres, almacenes, oficinas y laboratorios.

Así, pues, una unidad de prospección para una región podría componerse como tipo mínimo de:

- 1.º Un equipo geológico con laboratorio.
- 2.º Un equipo geofísico con laboratorio.
- 3.º Una sonda pequeña.
- 4.º Dos sondas grandes.
- 5.º Un taller.
- 6.º Un almacén.
- 7.º Un servicio de transportes.
- 8.º Una oficina.
- 9.º Un laboratorio de lodos.

Su coste sería:

1.º <i>Equipo geológico.</i> —Tres geólogos de campo y dos de laboratorio, a 120.000, incluidos los gastos de desplazamiento y material. Ptas.	600.000
2.º <i>Equipo de geofísica.</i> —Gastos de prospección de un equipo extranjero con personal de aprendizaje español ... Ptas.	2.500.000
3.º <i>Una sonda pequeña.</i> —Gasto anual de perforación de unos 3.000 m., a un promedio de 1.500 ptas. m., en sondeos de 1.000 metros de profundidad, término medio. Ptas.	4.500.000
4.º <i>Dos sondas grandes.</i> —Gasto anual de perforación de 6.000 m. para sondeos de 3.000 a 4.000 m., a 3.000 ptas. m. ... Ptas.	18.000.000
5.º a 9.º <i>Servicios y gastos generales</i> ... Ptas.	6.000.000
TOTAL... ... Ptas.	31.600.000

El presupuesto de gastos por región sería, pues:

Primer año:

Estudios geológicos de campo y laboratorio ... Ptas.	600.000
Instalación de laboratorio ... »	1.000.000
Estudios geofísicos ... »	2.500.000
Adquisición de equipos geofísicos de gravimetría y sísmico, con todos sus elementos de trabajo y transporte ... Ptas.	2.300.000
Adquisición de una sonda pequeña ... »	3.000.000
Material de locomoción y transporte, cuatro camiones y tres turismos... Ptas.	1.500.000
Taller, oficinas, almacén y viviendas... »	2.000.000
Transportes ... »	200.000
Personal de Dirección, administración y de servicios varios ... Ptas.	1.500.000
Varios e imprevistos ... »	1.500.000
TOTAL... ... Ptas.	16.100.000

Segundo año:

Estudios geológicos de campo y laboratorio ... Ptas.	600.000
Estudios geofísicos (continúan equipos extranjeros)... Ptas.	2.500.000
Ejecución de 3.000 m. de sondeo con la sonda pequeña ... Ptas.	4.500.000
Adquisición de dos sondas grandes, con todos los elementos para ejecutar dos sondeos ... Ptas.	40.000.000
Transportes marítimos, terrestres y accesorios ... Ptas.	1.800.000
Dirección, administración y servicios varios ... Ptas.	1.500.000
Varios e imprevistos ... »	1.500.000
TOTAL ... Ptas.	52.400.000

Tercer año y sucesivos:

Estudios geológicos de campo, pie de sonda y laboratorio ... Ptas.	600.000
Estudios geofísicos (personal español sólo). »	1.500.000
Ejecución de 3.000 m. de sondeo con la sonda pequeña... Ptas.	4.500.000
Ejecución de sondeos con las sondas grandes (6.000 m.)... Ptas.	18.000.000
Transportes y accesos ... »	600.000
Dirección, administración y servicios varios... Ptas.	2.000.000
Materiales varios e imprevistos ... »	6.000.000
TOTAL ... Ptas.	32.200.000

NOTA.—En este presupuesto queda incluido el material para reponer el averiado y desgastado de las sondas, calculando que es preciso sustituirlo todo en cinco años. O sea, incluida la amortización de la máquina.

En los dos primeros años el gasto total suma pesetas 68.500.000, o sea, a razón de 34.250.000 pesetas por año. De aquella cantidad, 51 millones de pesetas corresponden a immobilizaciones por adquisición de material e instalaciones.

*Las investigaciones por CAMPSA,
CIEPSA y ADARO.*

Por otro lado, hemos dicho que las Empresas CAMPSA y CIEPSA ya realizan trabajos de prospección hace varios años y poseen material, no mucho, pero bueno, una experiencia en su personal que serviría de base para los futuros trabajos y muchos estudios que ya han desbrozado el camino. Además, ADARO se dispone igualmente a iniciar la investigación de sus reservas, para lo que tiene pedidas sondas.

Son, pues, tres las grandes empresas que están hoy en las condiciones indispensables para llevar a cabo esta gran tarea. Ciertamente que otras pequeñas compañías y particulares tienen concesiones petrolíferas en diversos puntos de España, pero nada práctico pueden hacer sin un apoyo técnico y financiero, que difícilmente hallarán, pues salvo rara excepción, dichas concesiones son muy pequeñas y no justifican las grandes inversiones que hay que realizar.

En principio, por tanto, dichas tres grandes empresas deben distribuirse la producción en aquellas regiones, distribución que había de hacerse según los trabajos ya realizados por ellas y previo acuerdo, y sería muy conveniente que cada una de ellas se encargara de una o más regiones petrolíferas, definidas y homogéneas, pues por todas las razones, técnicas y económicas, se comprende que sería lo más eficaz y barato.

Las concesiones que una empresa tenga dentro de la región de otra podrán ser objeto de acuerdos de cesión o compensaciones.

Esto no obsta para que pudiera surgir otra empresa con aportaciones importantes, que pudieran justificar su inclusión en el plan de investigación petrolífera.

Concesiones actuales de particulares.

En cuanto a las concesiones sueltas de particulares que las tienen inactivas y que nunca podrán investigar formalmente, a no ser que formen empresas del tipo marcado en el párrafo anterior, debe dárseles un plazo, no superior a dos años, para presentar un plan de trabajos, incluidos los estudios realizados y los medios con que cuentan, que si no son plenamente satisfactorios deben caducar sus derechos, y pasar

a la región petrolífera correspondiente, previa indemnización de gastos, si hubiera lugar.

Costes en divisas y participación extranjera.

Otro punto que es preciso tener en cuenta es la cuantía de las divisas que es preciso invertir en la adquisición de materiales y en personal extranjero. Esta cifra es al principio elevada. Hemos dicho que en los dos primeros años el gasto por región, que desde ahora sustituiremos por empresas, es de 68.500.000 pesetas, o sea, en total 205.500.000 pesetas entre las tres. De esta cantidad, por adquisición de material son pesetas 152.400.000, en divisas, de las que, deduciendo material ya existente y un equipo de Geofísica, pues con dos habría suficiente, quedarían en 144.000.000 de pesetas. Esto representa 2,5 millones de dólares por año, en los dos primeros. En los años sucesivos el gasto entre las tres empresas es de 100 millones de pesetas en números redondos, de los cuales, entre materiales y repuestos, serían al principio en divisas unos 40 millones de pesetas, que podrían reducirse a medida que la producción nacional fabrique algunos de los materiales de recambio y tuberías. Esto es, alrededor de 1.400.000 dólares.

Si aquella cantidad de cinco millones de dólares causara serios quebrantos en nuestra difícil situación actual de divisas, podría intentarse la colaboración extranjera. Veamos en qué condiciones.

La supuesta empresa extranjera podría aportar el material y elementos en divisas comprendidos en los dos primeros años, mientras las empresas españolas abonarían todos los gastos en pesetas de esos mismos años y los gastos completos de los años sucesivos.

El total que aportarían aquéllas sería de unos 144 millones de pesetas más los gastos de su personal y varios, que cifraré en total en 150 millones de pesetas. La primera campaña de prospección durará seis años. Las empresas españolas abonarían 680 millones de pesetas en total por gastos de materiales, personal, etc., excepto el personal que por su conveniencia tuvieran las empresas extranjeras. La aportación extranjera sería así del 22 por 100 en efectivo. Ahora bien; habría una dificultad en esta valoración, y es que es dudosa la aceptación por ellos del cambio oficial de 28,30 pesetas por dólar, que nosotros damos a la peseta. Podría proponerse valorar la aportación extranjera en 200 millones de pesetas y ellos deberán

aceptar nuestras aportaciones en trabajos realizados y material ya existente, más el subsuelo nacional. Fijando, pues, todas estas aportaciones en 800 millones de pesetas, en dichos ocho años corresponde el 25 por 100 a la empresa extranjera.

A partir de los ocho años, si se continuaran los trabajos, la empresa extranjera aportaría el 25 por 100 de los gastos, especialmente en material extranjero, previo convenio sobre el cambio del dólar, a base de lo hecho en el primer período, y se seguiría en la misma forma por otro período de seis años.

Se fijan los seis años porque una sonda se amortiza entre cuatro y cinco años, los elementos de transporte en cuatro años, y, en cambio, otros materiales de taller, edificios etc., en plazos muchos más largos por lo que es un promedio prudente el de los seis años fijados.

Otra fórmula de colaboración extranjera, si el gasto anual de 40 millones en divisas fuera difícil de sostener, es que en su mayoría sea aportado por ellos; pero en tal caso su aportación sería superior al 50 por 100. Podría fijarse ésta en un 45 por 100, y, en tal caso, tendría dicha participación. Entonces dicha aportación anual sería de unos 26,5 millones de pesetas al cambio oficial; pero revalorizado el dólar sobre la misma base del período anterior, que es aproximadamente la de pesetas 40 por un dólar, su aportación sería de 662.000 dólares anuales en números redondos, más las sondas y equipos geofísicos de primera adquisición.

En el segundo período esta aportación, ya amortizado el material, se elevaría al 45 por 100, o sea, a 45 millones de pesetas, la gran mayoría en divisas.

CONCLUSIONES

«Después de explicados los principales puntos sobre el desarrollo y coste de esta clase de trabajos, a continuación se hace la propuesta de un plan de Investigaciones Petrolíferas en España».

«1.º Se adoptará por el Estado español este plan con carácter nacional, en igual forma que las Obras Públicas, Ferrocarriles, Ejército, etc., y demás empresas de elevado gasto sin rendimiento económico inmediato».

«2.º Se dividirá España en las siguientes regiones petrolíferas:

a) Región Catalano-Aragonesa, que comprende las cuencas secundarias y terciarias situadas entre la cordillera catalana, al Sur y al Este; la cordillera pirenaica, al Norte, y el meridiano que pasa por Barbastro, al Oeste.

b) Región Navarro-Aragonesa, que limita: al Este, con la anterior; al Norte, con la cordillera pirenaica; al Sur, con las estribaciones septentrionales de la Ibérica, y al Oeste, con la línea que pasa por Atondo, Estella y Arnedo.

c) Región Cantabro-Navarra, que limita: al Este, con la anterior; al Norte, con la cordillera pirenaica y mar Cantábrico; al Sur, con las estribaciones septentrionales de la Ibérica hasta Arnedo, y al Sudoeste, con la línea que desde Santander pasa por Villacarriedo, Espinosa de los Monteros, Miranda de Ebro y Torrecilla.

d) Región Norte de Castilla, que limita: al Noroeste y Este, con la anterior; al Sur, con el paralelo de Burgos hasta las estribaciones de la sierra de la Demanda; y al Oeste, podrá comprender las provincias de Palencia y León.

e) Región Centro de Castilla, que limita: al Norte, con la anterior y con la sierra de la Demanda; al Sur, con las estribaciones septentrionales de los Montes Carpetanos, y que al Este puede extenderse al Aragón meridional; y al Oeste, a las provincias de Valladolid y Segovia.

f) Región Sur de Castilla, que comprende las provincias de Cuenca, Ciudad Real y Guadalajara, al Sur de los Montes Carpetanos.

g) Región de Levante, que comprende las provincias de Albacete, Murcia y Almería.

h) Región Andaluza, que comprende las provincias andaluzas, situadas entre el gran accidente de Guadalquivir y el bloque bético».

«3.º El Estado se reservará la concesión de las investigaciones de estas regiones a empresas privadas, estatales y para-estatales, a las que se dará el carácter de nacionales. Para ello se separará la minería petrolífera del articulado de la Ley actual de Minas y será objeto de una legislación adicional especial, que comprenderá los siguientes puntos básicos:

a) Toda empresa española podrá solicitar la investigación petrolífera de una o varias de las regiones arriba descritas. A la solicitud acompañará una Memoria en la que se expongan las razones técnicas en

que se funda y se expresen por capítulos las unidades geológico petrolíferas que comprenden dichas regiones solicitadas.

b) Expondrá el programa geológico y geofísico que desarrollará hasta ubicar los sondeos o para desistir de hacerlos en caso desfavorable.

c) Dirá también los medios económicos y materiales con que cuenta para esta primera labor.

d) Si se aprueba en la forma que luego se dirá el programa, le será concedida la investigación de la región o regiones solicitadas.

e) El cumplimiento del programa será inspeccionado, y, si se realiza, podrá pasar al período de sondeos en las condiciones que más tarde se explicarán.

f) Las empresas CAMPSA y ADARO, por tener en ellas una participación casi total el Estado, y CIEPSA, por ser empresa española industrial petrolífera, al haber todas ellas iniciado ya dichas investigaciones con relativa intensidad, tendrán opción a las regiones que les interese, y sólo podrán optar otras empresas a las restantes.

g) La distribución entre dichas empresas de las regiones por las que se interesen se hará en la forma que se reglamente, así como las actuales concesiones que posean dentro de las regiones que correspondan a las otras.

h) Las concesiones actuales pertenecientes a otras personas o entidades y que están inactivas, o en tramitación, y que en un plazo de dos años no demuestren sus posibilidades de investigación según un programa técnicoeconómico que presentarán y que ha de ser aprobado o rechazado en la forma que se reglamentaría, caducarán y quedarán comprendidos dentro de la región correspondiente. La indemnización que habría de abonar al propietario sería determinada a base de los gastos justificados realizados por el propietario y de un plus de indemnización, si ha lugar a ello».

«4.º El Estado fijará su aportación a cada empresa, en cada caso particular, e incluirá en su presupuesto anual las consignaciones correspondientes, que para ser eficaces serán de unos 100 millones de pesetas anuales durante un primer período de ocho años, prorrogable por otros seis, para la ejecución de un mínimo de 140.000 m. de sondeos profundos de investigación en el primer período y otros tantos en el segundo período.

Igualmente fijará su participación, proporcional a todo efecto a su aportación, y ejercerá una intervención directa en los gastos y beneficios, así como en los programas anuales y presupuestos, que exigirán su previa aprobación».

«5.º Para la aplicación de los apartados 1.º, 2.º y 3.º, se creará un Consejo Superior de Investigaciones Petrolíferas, autónomo y dependiente del Ministerio de Hacienda. El carácter de este Consejo será técnico-administrativo».

«Sus atribuciones y obligaciones serán las siguientes:

a) Ordenar, regular y orientar las investigaciones petrolíferas en el subsuelo nacional y distribuir los fondos que el Estado consigne a este fin, tanto en pesetas como en divisas extranjeras.

b) Aprobar, modificar o rechazar los programas o presupuestos que han de presentar anualmente las empresas investigadoras, así como inspeccionar los trabajos e instalaciones que éstas hagan, para comprobar la buena ejecución de dichos programas, y autorizar o corregir las modificaciones de carácter general y las inversiones que en ellas se hubieran de hacer a causa de incidencias, que aconsejaran u obligaran a ello, en el curso del ejercicio.

c) Estudiar y otorgar o rechazar la petición de concesiones de las regiones petrolíferas por empresas solicitantes.

d) Fijar y reajustar las regiones que han de investigar las tres Empresas CAMPSA, ADARO y CIEPSA, oyendo a las mismas después de invitarlas a mutuos arreglos.

e) Recibir y atender o modificar las peticiones de materiales de importación de las empresas investigadoras.

f) Procurar de la industria nacional el máximo suministro de materiales, de acuerdo con las empresas investigadoras.

g) Procurar, en colaboración con las citadas empresas y con la Escuela Especial de Ingenieros de Minas, la enseñanza de esta especialidad, tanto en dicha Escuela para técnicos superiores en geología petrolífera, en perforación, almacenamiento, transporte y tratamiento de gases y petróleo bruto, como en las de capacitaciones para preparación de maestros y sondistas; jefes

de sondeos, para auxiliares de transportes y tratamiento de productos.

h) Reunir, estudiar y acoplar cuantos datos se refieran a la prospección, investigación y explotación de yacimientos petrolíferos, tanto geológicos como de perforación, extracción, tratamiento de productos a pie de pozo, transporte y almacenamiento, para en todo momento poder resolver contingencias en conjunción con las empresas.

i) Estudiar e impulsar los métodos para la mejor explotación y aprovechamiento de los campos petrolíferos que se descubrieran.

j) Coordinar las investigaciones de las citadas empresas.

k) Proponer al Ministerio la cancelación o ampliación de las regiones concedidas, según los resultados de

las investigaciones, y el cumplimiento de las empresas de las obligaciones contraídas.

l) Dar cuenta anual al Ministerio de Hacienda, por medio de una Memoria, de los trabajos y estudios realizados, de sus resultados y de los gastos realizados.

ll) Informar al Ministro y asesorarle sobre posibles intervenciones extranjeras en la investigación y posible futura explotación con una serie de las empresas españolas».

«La composición del Consejo será lo más restringida posible, y de carácter técnico-administrativo, e integrado por personas idóneas de la profesión geológico-minera especializadas en petróleos, particularmente quien ha de ostentar la dirección de este Organismo».

Madrid, abril 1950.

A este trabajo presenta una enmienda D. Jaime Porta Masana, en la que considera que la base del mismo representa la estatificación de las investigaciones petrolíferas y la eliminación total, más o menos inmediata, de la iniciativa privada, que, por el contrario, debe estimularse, y llegar en este orden de materias a que el Estado proceda a una reducción del canon y procurando reducir los gastos a que la Ley de Minas conduce en la aplicación de tal disposición: gastos que resultan ser anteriores a los trabajos de explotación, y que debe conservarse el plazo de tres años para empezar estos trabajos y prevalecer para todas las compañías, aún para las reservas del Estado. Que a su vez, sería interesante que el Estado adquiriera nuevos equipos de sondeo y los pusiera a disposición de la iniciativa privada, la cual abonaría la cantidad razonable que cubriera los gastos de adquisición de los mismos. Asimismo, convendría reducir la tarifa de transporte de dichos equipos.

Después de ello el Sr. Sanz procede a la lectura del segundo de sus trabajos, que sigue:

N.º 223. - Organización petrolífera nacional

Autor: D. RUPERTO SANZ Y SANZ

Ingeniero de Minas

ORGANIZACIÓN PETROLÍFERA NACIONAL

Algo importante se está haciendo ya en España en este básico aspecto de la economía nacional. Tal es las investigaciones del subsuelo por las Compañías CIEPSA y CAMPSA y, en vías de iniciación, por la Empresa Nacional ADARO. A este concepto dedico una propuesta adjunta. En el refino ya está en funcionamiento (aunque incompleta) en la Península, la Refinería de Escombreras (Murcia), para 800 toneladas diarias de petróleo bruto, ampliable a 3.000. Además existe la de Santa Cruz de Tenerife, modernizada últimamente.

Pero, lógicamente, no ha de terminarse aquí. España tiene hoy un consumo, con restricciones, de toneladas 1.100.000 aproximadamente de productos petrolíferos, que —sin restricciones y reduciendo algo el precio de la gasolina de turismo, hoy elevado, como en toda Europa, cuya justificación es el sacrificio que hace el Estado en divisas para su importación— pasaría del millón y medio de toneladas y que dentro de cinco años será, probablemente, superior a los tres millones de toneladas. Su coste, calculado en dólares, es, en promedio unos productos con otros, aproximadamente de 28 dólares por tonelada, y la probable

cifra de 84 millones de dólares que se precisarían para importar dentro de cinco años los productos petrolíferos, justifican no sólo la labor que se viene realizando, sino su ampliación en un plan combinado que fije una política petrolífera definida.

Por otro lado, el beneficio que proporciona al Tesoro Público esta renta es de tal cuantía, que por este lado no debe de haber reparo económico que hacer, ya que, si bien al principio se exigen desembolsos importantes, su recuperación es luego rápida, no sólo porque al importar petróleo bruto en lugar de refinado dicha importación puede ser mayor con la misma cantidad de divisas y, por tanto, aumentar las ventas considerablemente, sino porque la Hacienda Pública tendría más ingresos indirectos. En efecto, nuestro consumo de productos petrolíferos es sumamente reducido; Francia consume (sin tener en cuenta las restricciones) cerca de seis veces más por habitante, y, en general, este consumo en los países del Occidente de Europa, excepto Portugal, es superior en más de tres veces al nuestro por habitante. Se debe esto principalmente a la escasa motorización de nuestro campo y a la carestía de los vehículos de transporte en España; pero como estas circunstancias se modificarán en plazo más o menos lejano, especial-

mente al abundar más los carburantes, y porque hay deseos de motorización, la agricultura aumentará su rendimiento, así como los transportes y las actividades que éstos promueven, lo que se traducirá en mayores recaudaciones por la Hacienda y en un aumento del bienestar nacional.

El plan petrolífero abarcará los siguientes capítulos:

- 1.—Investigación del subsuelo nacional.
- 2.—Refino de petróleo bruto.
- 3.—Transportes.
- 4.—Almacenamiento y distribución.

1.—En nuestro anterior trabajo n.º 221 se expone el plan de investigación que se ha de seguir.

2.—Hacemos el programa sobre la base de que en 1955 el consumo nacional alcanzará la cifra, si se suspendieran las restricciones o mejorara el comercio con el exterior, de tres millones de toneladas y en 1960 de más de cuatro millones de toneladas.

La actual Refinería de Escombreras habrá llegado a refinar el millón de toneladas anuales, y así, las regiones levantinas y del Sur quedarán abastecidas de productos petrolíferos. Suponemos que habrá que importar un 30 por 100 de algunos de estos productos, tales como gasolinas de aviación y otros derivados especiales, cuyo consumo no es suficientemente grande para obtener una producción económica de los mismos. En 1955 la producción en refinerías nacionales deberá ser, pues, de 2.100.000 toneladas. Faltarán, pues, 1.100.000 toneladas, para lo que se necesita otra refinería en el Norte de España de 1.000.000 de toneladas de tratamiento de crudo.

Ahora bien, si ambas refinerías tratan en total dos millones de toneladas de crudo, la producción de derivados será aproximadamente de 1.800.000 toneladas. Faltan 300.000 toneladas, que serían suministradas por la refinería de Santa Cruz de Tenerife, que además suplirá las diferencias en más que puedan existir.

Las refinerías deberán ser de esta capacidad mínima (pues por debajo del 1.000.000 de toneladas anuales resulta el refinado más caro que en el extranjero), y no proyectamos la producción de gasolinas de aviación, pues las unidades para lograr las de 100-130 de número de octano con la tensión de vapor, y con la proporción de gomas actuales y potenciales requeridas, exigen refinerías costosas, tanto de primera ins-

talación como por las regalías que hay que abonar por las patentes.

Hay, además, que escoger un crudo adecuado y disponer de gases de petróleo abundantes, lo que ya de por sí es una gran dificultad casi insuperable por ahora. Comprende los siguientes procesos:

Destilación normal.

Destilación por «cracking» catalítico.

Fabricación de alquilizados (isoparafinas) o polímeros obtenidos por saturación de olefinas gaseosas con parafinas, también gaseosas.

Fabricación de cumeno por polimerización del benceno con hidrocarburos parafínicos (eventual).

Fabricación de isooctano (eventual).

Obtención de isopentano para ajustar la curva de destilación y la tensión de vapor.

Mezcla de estas gasolinas y etilado.

La unidad ha de ser de 1.000 toneladas diarias por lo menos para competir con la producción extranjera en precios de coste. No es, pues, viable no teniendo producción de petróleo y gases naturales nacionales.

El coste de una refinería de 1.000.000 de toneladas, basada en la fabricación clásica de gasolina de turismo, petróleo de alumbrado, «gas-oil» y «fuel-oil», con unidades de primera destilación, «cracking» y reforma de la gasolina, tratamiento químico de gasolina y keroseno, unidades de redestilación y de polimerización de los gases de refinería, central térmica, «tanque» normal para crudo, destilados y refinados, instalación contra incendios, aprovisionamiento de agua, almacenes, talleres, laboratorio, oficinas, instalaciones de descarga de crudo y carga de productos a buque, a ferrocarril y camiones, calculada en dólares, se acerca hoy a los 30.000.000 de dólares, de cuya cuantía algo más de la mitad puede ser adquirido en pesetas y el resto en divisas.

La economía en divisas que supone refinar en España es la siguiente:

Coste medio aproximado de los productos petrolíferos	\$ 28,00 ton.
Coste de la tonelada de crudo, calculando el 10 % de pérdidas por refino, transporte y descarga (crudo de 0,850 de densidad, tipo nafténico)	\$ 20,35 »
Regalías y otros en divisas	\$ 2,56 »
	<hr/>
	\$ 22,91 »

La economía es \$ 5,09 por ton. aproximadamente.

En un millón de toneladas la economía en dólares

es por año de dólares 5.090.000, que puede aumentarse por contratos con descuentos sobre el precio de cotización oficial del petróleo.

Las ventajas son, además, las menores mermas en el transporte, descarga y almacenamiento en el crudo que en gasolinas, así como una mayor facilidad y economía del transporte por mar, pues siempre se transporta el mismo producto de un solo puerto a otro, sin la preocupación de la distribución de los buques-tanques a sucios y limpios y sin los costosos cambios de aquéllos a éstos.

Otra ventaja es la gran fabricación de productos de características constantes y de acuerdo con las normas que rigen internacionalmente.

Éstas son, con algunas excepciones, las de la American Society for Testing Materials (A. S. T. M.), American Petroleum Institut (A. P. I.) y las de la Society of Automotive Engineer (S. A. E.). Las más importantes especificaciones que citamos, por corresponder a los productos de más consumo en maquinaria, son: el número de octano en las gasolinas y la curva de destilación de éstas. El primero alcanza hoy, etilada, de 78 a 80, para los coches de turismo, y 60 a 65, para camiones y tractores, sin etilar. Muy importante es esta característica para el rendimiento y conservación de los motores de explosión actuales, de alta compresión y elevado número de revoluciones. Igualmente es importante la característica «tensión de vapor», la que depende principalmente de la curva de destilación de la gasolina y que debe mantenerse entre 8 y 9 Reid. (Naturalmente, suponemos las gasolinas perfectamente refinadas y, por tanto, sin azufre ni materias extrañas.)

El «gas-oil» es un destilado sin refinar. Para motores de combustión interna rápidos ha de tener un índice «Diesel» elevado (45 a 50) tipo parafínico, ser amarillento y transparente, con escasa humedad y sin residuos.

Los aceites lubricantes para motores de explosión y «Diesel», donde sufren fuertes variaciones de temperatura, han de tener un índice de viscosidad de 100 o próximo a él y han de estar perfectamente refinados.

Dado que las normas para todos los derivados del petróleo están publicadas por dichas Sociedades, no las detallamos y sólo insistimos en aquéllas por la ne-

cesidad de su cumplimiento para el buen rendimiento y conservación de una maquinaria que tanto cuesta importar, las que entre las dos refinerías, una del Norte y otra la de Escombreras, ésta con refino de aceites lubricantes, pueden lograrse de un modo constante, si trata, esta última, crudos de tipo parafínico.

3.º—El transporte por mar, aunque atendido, es aún escaso y lo será más con el tiempo, a pesar de estar en construcción tres buques tanques de 10.800 toneladas de carga. La flota de CAMPSA de altar mar es de 132.000 toneladas de carga en 18 buques, y hay tres más en construcción de 10.650 toneladas de carga cada uno. La capacidad de transporte de la totalidad de estos buques tanques, en el supuesto de traer todos los productos de América y del Golfo Pérsico, es de alrededor de un millón de toneladas por año.

Se precisarían construir, por lo menos, 150.000 toneladas más en buques-tanques de 17 millas de andar para atender a las dos refinerías peninsulares y los servicios de cabotaje. El coste de esta flota sería de unos 1.300 a 1.400 millones de pesetas, cifra elevada, pero que de todas formas ha de construirse, o han de fletarse buques extranjeros que cuestan muchísimas divisas.

En los transportes terrestres ha de continuarse por ahora con el de vagones cisternas de 40 a 60.000 litros de capacidad, pues los oleoductos no están aún justificados por su consumo. Madrid sería la única ciudad indicada para este medio de transporte, pero el coste de una tubería desde el puerto más próximo, que es Valencia, es muy grande. No tenemos experiencia en esta clase de construcciones, pero tomamos el de Francia, como ejemplo, de 6.000 frs. el metro aproximadamente. No estará, pues, muy distante de la realidad el coste de 700 pesetas metro para una tubería de 6 pulgadas, teniendo en cuenta el paso de las cordilleras, que supone más potentes estaciones de bombeo, y algunas obras costosas de paso de profundos barrancos.

El coste, pues, de los oleoductos a Valencia, o Bilbao, o Santander (330 y 370 kms. aproximadamente) es de 230 a 260 millones de pesetas.

El consumo actual de Madrid es de 70 a 80 millones de litros de gasolina por año, con restricciones, y dentro de cinco años, si se suprimen éstas, se acer-

cará mucho a los 200 millones de litros. Además, desde Madrid se establecería un radio de aprovisionamiento deducido de los costes de transporte por ferrocarril, que hará subir esta cifra.

Si calculamos sólo 200 millones de litros, su transporte desde Bilbao cuesta, a las tarifas actuales por ferrocarril, 55.480.000 pesetas, más gastos de llene y descarga de los vagones cisternas, y desde Valencia, 45.800.000 pesetas.

Los gastos del transporte por tubería no pasarán al año de los cinco millones de pesetas, por lo que se deduce que es conveniente pensar en el proyecto de su tendido desde el Norte o desde Levante, según la situación de las refinerías.

El equivalente de esta tubería sería: 4.000 viajes de cisternas de 50.000 litros; a un máximo de dos viajes por mes, son 166 cisternas, más unas 20 para reparaciones y retrasos, que costarían de construcción unos 25 millones de pesetas.

Los gastos de reparación se computan por los de la tubería. Las ventajas y economía son, pues, muy importantes y, además, dentro de diez años el consumo de la región centro puede llegar y sobrepasar los 300 millones de litros anuales.

4.º *Almacenamiento.*— El almacenamiento, existiendo refinerías, se acumula principalmente en éstas, y no habrá necesidad, con una flota de cabotaje suficiente, que queda ya incluida en la dada en el capítulo de transportes, de ampliar mucho el actual. Pero sí convendrían reformas, entre las que de las más importantes son aquéllas que reduzcan las pérdidas por evaporación y la alteración de las gasolinas. Los tanques con techos flotantes cumplen estas condiciones y debe tenderse a su implantación. Los sistemas de carga y descarga de cisternas deben cuidarse lo más posible, así como modernizar los camiones cubas. Estos servicios pueden ser atendidos en la explotación normal que no muy elevado aumento de gastos, en un principio, que se verían pronto recompensados.

Nos referimos sólo a los servicios normales, pues para los de carácter militar, estos almacenamientos y transportes, para los distintos Ejércitos de Tierra, Mar y Aire, exigen condiciones especiales.

Cuanto antecede sufrirá una gran modificación si

las investigaciones del subsuelo nacional dan una producción de petróleo bruto.

PROPUESTA

- 1.ª Se adoptará el plan de investigaciones adjunto.
- 2.ª Se atenderá a la terminación de la Refinería de Escombreras hasta el millón de toneladas anuales por lo menos, para que la calidad y precio de los productos sea análoga a los americanos y a la construcción de otra de la misma capacidad en el Norte de España.
- 3.ª Se aumentará la flota de alta mar a esta capacidad de transporte con buques modernos de 17 a 20 millas de andar y se procederá al estudio y, en su caso, a la construcción del oleoducto desde un puerto a Madrid para abastecer el centro de España.

En resumen, las inversiones aproximadas anuales en la política petrolífera serán las siguientes durante cinco años:

	Pesetas.
1. Investigaciones del subsuelo nacional...	100.000.000
2. Refinería del Norte ...	120.000.000
3. Buques-tanques ...	280.000.000
4. Oleoductos ...	50.000.000
TOTAL ...	550.000.000

Si se admite la aportación privada y extranjera, como en la Refinería de Escombreras, puede reducirse en los capítulos 1 y 2 en 85 millones de pesetas en la del Estado, y si la Refinería de Escombreras es aprovisionada por buques extranjeros o de las empresas refinadoras, al capítulo 3 sólo aportaría el Estado 140 millones, con lo que la consignación anual de éste para la ejecución de este programa durante los cinco años sería de 325 millones de pesetas.

Las divisas que aproximadamente serán necesarias son las siguientes, traducidas a dólares:

1.—Investigaciones del subsuelo (promedio) ...	1.80 millones de dólares
2.—Refinería del Norte ...	2.20 » »
3.—Buques, oleoductos y varios...	0.40 » »
TOTAL ...	4.40 » »

Que igualmente pueden reducirse considerablemente con una participación extranjera. Además, sólo representa el 7 %, aproximadamente, del coste de las probables importaciones en 1955, sin restricciones, y el 19 % de las actuales, con restricciones.

Aunque estas cifras parezcan elevadas, no lo son, en comparación con los resultados que se obtendrán, pues pocos productos son tan agradecidos como el

petróleo a las inversiones que para su mejor aprovechamiento se hacen.

Madrid, abril de 1950.

Finalizada la lectura de este trabajo, y como que en las conclusiones existen pequeñas diferencias con las de los trabajos anteriores de otros autores, se acuerda, a propuesta de la Presidencia, hacer un estudio para armonizarlas entre sí y con las de la ponencia general. Este acuerdo es aceptado por todos los asistentes.

Se concede la palabra a D. Juan Melgar, que lee la siguiente comunicación titulada: «LAS POSIBILIDADES PETROLÍFERAS DEL ANTICLINAL CRETÁCEO DE LA RÚA GABARRA.»

N.º 247. - Posibilidades petrolíferas del anticlinal cretáceo de la Rúa-Gabarra (Lérida)

Autor D. JUAN MELGAR ESCRIVÁ DE ROMANÍ

Ingeniero de Minas

I. INTRODUCCIÓN

En relación con los estudios geológicos para la investigación del petróleo que la Empresa Nacional «Adaro» lleva a cabo por encargo del Instituto Nacional de Industria en la zona reservada a favor del Estado en los Pirineos Catalanes, vamos a describir someramente las características del anticlinal senonense-garumnense que hemos dado en llamar de la Rúa-Gabarra, y que está situado al Este del gran sinclinal de la cuenca de Tremp (Lérida), y al Sur de Boixols, lugar este último de los más caracterizados de la zona reservada, por sus conocidas manifestaciones petrolíferas, consistentes en la existencia de pequeñas cantidades de hidrocarburos ligeros que rellenan las cavidades de las margas cretáceas, las cuales es preciso quebrantar por medio de barrenos para que las gotas de petróleo salgan al exterior.

Cerca de nuestro anticlinal existe otro en el que actualmente la CAMPSA realiza estudios e investigaciones.

No vamos a entrar en el detalle de las consideraciones geológicas y de las teorías que limitan en nues-

tro país las investigaciones del petróleo al estudio de los terrenos secundarios y terciarios; pero sí diremos, a modo de resumen, que para que haya un yacimiento de petróleo son necesarias dos condiciones fundamentales:

1.^a La existencia de una roca madre petrolífera en la que se hayan formado los hidrocarburos, y

2.^a La existencia de capas porosas y de capas impermeables en disposición conveniente para que en ellas pueda haberse almacenado y conservado el petróleo al emigrar de la roca productora.

Por las condiciones específicas en que se verifica la emigración y acumulación del petróleo sabemos que la disposición más favorable de las capas para formar un yacimiento petrolífero explotable es, en términos generales, el anticlinal cupuliforme, y, de hecho, así se comprueba en una gran mayoría de los campos petrolíferos conocidos.

A este respecto, el anticlinal de la Rúa-Gabarra constituye una estructura que pudiéramos calificar de «clásica».

Como en la zona reservada a favor del Estado y en

sus alrededores hay manifestaciones petrolíferas, tanto en el cretáceo como en el eoceno, no puede cabernos la menor duda de que existen rocas madres, si bien no sabemos, hasta ahora, cuáles puedan ser, ya que en cualquier período geológico pudo formarse una roca de esta clase.

De hecho, en la zona reservada existen terrenos generados en cuatro épocas geológicas distintas en los que pudieron darse las condiciones sedimentarias que suponemos dan origen a las rocas madres. Dichas épocas son:

La triásica, transcurrida en régimen continental en el Buntersandstein y en el Keuper.

La urgo-aptense, representada en varios lugares por calizas dolomíticas con restos de hidrocarburos.

La garumnense, con sus repetidos cambios de régimen continental a marino.

La época anterior a la gran regresión oligocena.

No tenemos datos suficientes para fijar cuál pueda ser la edad de la roca madre, pero creemos plenamente justificada la opinión de nuestros más distinguidos geólogos, que la atribuyen al Keuper.

En la región petrolífera de Gerault (Francia), la roca madre es del permiano, pero en nuestra zona no parece posible que el petróleo haya podido atravesar las margas impermeables del Keuper, las que, además, por sus propiedades mecánicas, han provocado una tectónica de despegues, a consecuencia de la cual el Keuper y su cobertura se han plegado con independencia de su yacente.

Podemos desechar, asimismo, las calizas dolomíticas fértidas con hidrocarburos, de edad indeterminada, Dogger o urgo-aptense, que afloran en varios lugares, pues, precisamente, bajo la Zona de las manifestaciones del eoceno, no deben existir capas de esa edad.

Las manifestaciones que tienen su asiento en el cretáceo no puede provenir de rocas garumnenses, aunque sí pudieran hacerlo las eocenas; pero no hemos encontrado en el eoceno de la zona reservada, estructuras merecedoras de comenzar en ellas, de momento, una investigación. De todos modos, algunas de ellas están muy próximas a afloramientos de Keuper.

Parece, pues, que, como debe suceder en el campo petrolífero de Saint Gaudens, en la vertiente norte de

los Pirineos, el petróleo proviene de las rocas del Keuper.

De los estudios geológicos realizados hemos deducido la imposibilidad de que existan como rocas almacén, arenas, aunque sí se espera que haya areniscas más o menos calcáreas y calizas fracturadas o dolomíticas.

Por el contrario, abundan las margas y arcillas impermeables (en potentes espesores), capaces de formar verdaderas barreras que impiden la emigración del petróleo.

Decimos esto porque es característico de las formaciones cretáceas de esta parte de los Pirineos, el gran predominio de las capas arcillosas sobre las arenosas, al contrario de lo que sucede en la cordillera Ibérica, donde existen grandes espesores de arenas y areniscas y son poco frecuentes las capas arcillosas.

Apuntamos incidentalmente que, tal vez, en la zona comprendida entre los Pirineos y la Ibérica existan (ocultos bajo los sedimentos terciarios) pliegues de capas cretáceas en los que, por conveniente y equilibrada alternación de capas arenosas y arcillosas, se den las condiciones ideales para que se acumule el petróleo.

II. RESUMEN ESTRATIGRÁFICO

Haremos brevísima descripción de los terrenos geológicos representados en la región que nos ocupa, en su aspecto más característico.

En primer lugar, el granito y los estratos paleozoicos más o menos metamórficos afloran en grandes extensiones en la parte Norte, formando el núcleo pirenaico.

Tienen, también, importancia las capas del triás inferior formadas por una compleja serie de pizarras, conglomerados de canto silíceo y areniscas micáceas de varios colores que, a veces, engloban los tramos superiores del permiano.

El Muschelkalk aparece en afloramientos de pequeña extensión, tanto al Norte como al Sur.

Los afloramientos del Keuper son abundantes y muy característicos y, en general, están constituidos por arcillas y margas de variados colores con predominio del rojo, yesos y margas yesíferas y salíferas con jacintos de compostela y cristales de giobertita.

Se presentan algunos lentejones de calizas tabulares, pero más frecuentemente las margas están atravesadas por ofitas.

Como hemos dicho, creemos que las capas del Keuper pueden ser la roca madre de las exudaciones petrolíferas de la zona sub-pirenaica, pero su principal importancia se deriva de su plasticidad, debido a la cual, y como dice D. José María Ríos en su trabajo *Diapirismo*, tienen gran facilidad de emigración y, bajo la acción de presiones relativamente débiles, sufren grandes desplazamientos, se pueden acumular en profundidad enormes masas que enmascaran, así, su verdadera potencia e inyectarse después violentamente en los ejes de los anticlinales; pero, sobre todo, realizan en los plegamientos el papel de lubricante, facilitando los despliegues de la cobertura sedimentaria, que se pliega, de este modo, con independencia de su yacente, y finalmente favorecen los arrastres de los cabalgamientos. En resumen, que las margas del Keuper, por sus propiedades físicas, imprimen a los plegamientos un estilo propio que puede variar desde el tipo diapírico más o menos pronunciado, al tipo que Stille denominó inyectivo. Se produce el primero en los casos de gran espesor de la cobertura sedimentaria, y el segundo cuando aquélla es poco potente.

El jurásico, de características variadas según los afloramientos, está compuesto por margas y por calizas arenosas y dolomíticas. En ellas pueden recogerse gran cantidad de fósiles, principalmente TEREBRATULAS y RHYNCHONELLAS y cefalópodos.

Las formaciones del cretáceo comienzan por una potente serie de calizas en masa (a veces, impregnadas de hidrocarburos), coronadas por otras con Orbitolinas, constituyendo el urgo-aptense. Sobre ellas se desarrollan las margas grises de edad albense.

El cenomanense bien caracterizado es raro; es más frecuente encontrar el santoniense, en general, muy fosilífero y arenoso.

El campaniense suele estar representado por gruesos bancos de calizas compactas y detríticas de tonos rosados con abundantes HIPPURITES.

El maestrichtiense está constituido, en general, por margas arcillosas grises, azuladas o verdosas con potencia que puede rebasar ampliamente los 1.000 metros que, a veces, afectan las facies del Flysch y que coronan una o varias capas de areniscas.

El garumnense transcurre en régimen continental, depositando margas de variados colores, calizas lacustres y finos conglomerados. Entre los estratos de esta edad se intercalan varias capas con característicos fósiles marinos. En su nivel inferior suelen contener lignitos, explotados en varias localidades.

Comienza el eoceno con un depósito de margas rutilantes, formando, a veces, una sola serie con el garumnense, y después margas grises marinas y las clásicas calizas de alveolinas. Sobre ellas se apoya potente serie de margas grises verdosas con alternación de delgados lechos de calizas arenosas de facies del Flysch que corresponden al luteciense.

El bartonense ha sido determinado, principalmente, en Oliana, en los flancos del anticlinal cupuliforme que motivó que la CIEPSA pidiese una concesión en la que se ha practicado recientemente un sondeo para la investigación petrolífera, al parecer, con resultado negativo.

El eligoceno catalán de facies normal consiste en potentísima serie de margas rojizas entre las que se presentan alternaciones de areniscas y conglomerados amarillentos con fina estratificación. Por cambio lateral pasan, en los bordes, a conglomerados de gruesos cantos de caliza secundaria formados por la intensa erosión que siguió a los movimientos orogénicos que dieron nacimiento a la Cordillera Pirenaica y, en consecuencia, descansan en discordancia sobre terrenos secundarios y eocenos, aunque esta discordancia puede ser poco apreciable cuando se apoyan en los tramos altos de eoceno.

III. RESUMEN TECTÓNICO

Creemos interesante exponer a continuación breve resumen de la historia geológica de esta región, tal y como la exponen los autores que recientemente han publicado trabajos sobre la materia.

Los movimientos orogénicos que han originado la formación de la Cordillera Pirenaica se han producido en dos etapas principales, la primera de las cuales comprende una serie de fases hercinianas, y la segunda, fases alpinas.

Nos limitaremos a la porción de cordillera comprendida entre los meridianos extremos de la reserva a favor del Estado.

El terreno más antiguo que se conoce, documentado paleontológicamente de modo indudable, es el ordovicense, ya que algunas capas, atribuidas por ciertos autores al arcaico, parece que deben ser silurianas metamorfozadas por el herciniano, las inyecciones de rocas intrusivas o aún por el movimiento alpino; y capas que eran atribuidas al cambriano deben situarse en el siluriano.

Parece también demostrada la actuación de débiles movimientos caledonianos, pero el elemento fundamental de la cordillera ha sido un extenso y profundo surco geosinclinal siluriano de dirección Oeste-NO. limitado al Norte por el Macizo Central Francés y al Sur por un antiguo macizo actualmente hundido bajo los sedimentos de la cuenca del Ebro.

En las partes centrales de dicho geosinclinal se depositaron, durante el siluriano y el devoniano, grandes espesores de arcillas, que se transformaron más tarde en pizarras por las presiones de los movimientos orogénicos. En las partes litorales se depositaron calizas y margas; y en las zonas costeras, arenas y gravas, origen de areniscas y conglomerados.

Se ha señalado la existencia de débiles movimientos precámbricos de diferentes épocas, que dieron lugar a emersiones locales de tipo fugaz y, por consiguiente, a soluciones de continuidad estratigráficas, producidas, tanto por falta de sedimentación cuanto por erosión.

Sin embargo, el régimen de depósito geosinclinal se continúa con iguales características hasta después de depositado el Culm, y es, entonces, cuando se manifiestan los movimientos sudéticos que dan origen a rocas metamórficas y crean regiones elevadas de régimen continental, en las que se depositan los sedimentos que originaron las cuencas carboníferas.

Los movimientos de fase astórica pliegan con gran intensidad los estratos del gran geosinclinal pirenaico y, como consecuencia, todos los terrenos posteriores al estefaniense son discordantes sobre su yacente, cuando éste es anterior a dicho estefaniense.

Coinciden con estos movimientos las principales intrusiones de rocas graníticas de la zona axil, que continuaron posteriormente en forma de diques de variada basicidad. Por digestión de las rocas paleozoicas circundantes, se han formado, en la periferia de los batolitos graníticos, rocas dioríticas.

El régimen continental que se inició a finales del

Culm continúa durante el permiano y el triásico inferior, depositándose los típicos sedimentos rojos del llamado permotrias y en toda la zona pirenaica actuó intensamente la erosión, que hizo desaparecer, en parte, los terrenos depositados.

Los débiles espesores marinos del Muschelkalk debieron ocupar alguna extensión hacia el Sur, puesto que hacen su aparición en algunos diapiros al Sur de nuestra reserva; pero el terreno que debe constituir el substratum de toda la superficie de nuestra zona es el Keuper, el más antiguo de los que afloran en los ejes anticlinales y líneas de fractura. El relieve producido por los movimientos hercinianos fué suavizándose por la erosión, y la época triásica se caracteriza por la existencia de grandes cuencas continentales.

El movimiento herciniano se produjo por la aproximación del Macizo Central Francés y el antiguo macizo del Ebro, y en el profundo y extenso geosinclinal pirenaico se produjo por el plegamiento la consolidación de la actual zona axil pirenaica, que actuó desde entonces como núcleo rígido.

A partir de esta época se forman dos cuencas geosinclinales pirenaicas: una, al Norte, comprendida entre el antiguo Macizo Central Francés y el recién formado núcleo rígido axil, y otra, meridional, limitada al Norte por este núcleo y al Sur por el antiguo macizo del Ebro.

El núcleo axil pirenaico experimentó un proceso de elevación y, a partir del cretáceo inferior, perdió su carácter de zona de umbral y quedó emergido, con lo que las dos cuencas geosinclinales pirenaicas quedaron convertidas en dos cubetas de sedimentación independientes, o comunicadas por una zona situada al Oeste de los Pirineos Centrales.

A partir de los últimos tiempos triásicos, en la cuenca geosinclinal sud pirenaica se verifica larga serie de transgresiones y regresiones que se suceden con ritmo «veloz», produciendo en las zonas marginales rápidos cambios laterales de facies y soluciones de continuidad estratigráficas.

Sin embargo, durante la época secundaria se observa, como fenómeno más saliente, que el fondo o eje del surco sudpirenaico se va desplazando lentamente hacia el Sur. El macizo del Ebro va hundiéndose a lo largo de dicha Era y, así, durante el oligoceno el eje

del surco, aunque ya con carácter continental, está precisamente en el antiguo macizo que ha pasado a ser la cuenca del Ebro.

Después del período lacustre del Keuper, se inicia una gran transgresión marina que tiene su apogeo durante el liásico medio y superior; pero después del liásico hay un movimiento general de emersión y, aunque en algunos puntos se depositaron el Dogger y el Malm, parte de los estratos de estas edades han desaparecido por erosión, lo cual se pone de manifiesto por la existencia de bauxitas que se hallan frecuentemente entre el liás y el cretáceo.

Durante los últimos tiempos del período jurásico y primeros del cretáceo se depositaron calizas dolomíticas con restos de hidrocarburos; pero, si bien se presentan con las mismas características en todos los lugares en que están representadas, no corresponden en todos ellos a la misma edad, sino que, en unos, representan el Dogger y, en otros, el urgoniano. Al comienzo del cretáceo aparece el umbral axil pirenaico oriental, y es en la época aptense cuando se empieza a formar el verdadero geosinclinal sudpirenaico, que tenía su eje a la altura de la Sierra de Orgañá, y que se extiende, por el Norte, hasta las cercanías de la Sierra del Cadí, y por el Sur, se extinguía hacia el Montsech, donde el aptense está formado por arenas y lignitos que demuestran su posición marginal en el surco aptense. Por el Oeste estaba limitado por el llamado umbral transversal alto aragonés, que ocupaba casi toda la provincia de Huesca, y por el Este, por el llamado umbral del Ampurdán. Al acabar el aptense, los mares avanzan hacia Huesca y ocupan en esta provincia un área considerable durante el cenomanense, si bien se retiran de la provincia de Lérida.

Desde comienzos del cenomanense se inicia una gran transgresión marina y, al tiempo que, como hemos dicho, el eje del surco se traslada hacia el Sur, las áreas marinas se dilatan avanzando la costa Norte hacia el Norte y la Sur hacia el Sur, y así ésta se sitúa en el santoniense a la altura de Camarasa, como se pone de manifiesto por sus capas arenosas. Pero en el campaniense la costa está más al Sur, puesto que allí se depositan apreciables espesores de calizas. Del mismo modo se depositan calizas en Huesca y los mares llegan por el Norte hasta la Sierra del Cadí,

donde el campaniense está representado por conglomerados.

Durante el maestrichtiense los mares comienzan a retirarse, lo que se pone de manifiesto por el acunamiento del espesor de sus capas y el carácter arenoso de éstas. Al Norte de la Conca de Tremp, que es donde estaba situado el eje del surco del mar maestrichtiense, se depositaron potentísimos espesores de margas; pero los depósitos del final de dicha época están constituidos por las características areniscas de Arén, que denotan su carácter regresivo. Este carácter se acentúa durante el garumnense, en el cual se tienen depósitos continentales, si bien hay algunas intercalaciones de estratos marinos.

Los máximos espesores de garumnense se depositaron en la Conca de Tremp, al Sur de Orgañá y en la región de Figols.

A principios del ipresense continúa el mismo régimen de depósito y, por eso, sus sedimentos tienen idénticas facies que los garumnenses; pero durante el ipresense se inicia una transgresión marina que avanza de Oeste a Este y, por esto, los sedimentos continentales ipresenses tienen poco espesor en nuestra región y, en cambio, notable desarrollo al Poniente de ella.

El ipresense marino se termina con las calizas de ALVEOLINAS, y el área de los mares ipresenses se extiende considerablemente a Norte y Sur; pero las máximas amplitudes se alcanzan en el luteciense, rebasando por el Norte la Sierra del Cadí y por el Sur la cuenca del Ebro.

Durante esta época se depositan enormes espesores de margas azules nummulíticas y, en los últimos tiempos, en las zonas más marginales, margas y areniscas de facies del Flysch.

Durante el secundario se hicieron sentir en distintos puntos los efectos de débiles movimientos kimméricos, austrícos, y larámicos puestos de manifiestos por las discordancias locales observadas. Los movimientos alpinos no se manifestaron con intensidad hasta finales del eoceno con las fases pirenaicas que actuaron rápida e intensamente plegando la cobertura mesozoica y terciaria, y fracturando los ya rígidos estratos paleozoicos plegados por el herciniano.

Se pliegan preferentemente las dos márgenes del geosinclinal cretáceo, por presentar menor resistencia

por sus menores espesores, y permanece intacta la que era parte central en el cretáceo que conservó su carácter sinclinal.

A consecuencia de los movimientos pirenaicos se produce una retirada de los mares y se depositan, en las partes bajas de la zona plegada, ingentes masas de conglomerados, producto de la erosión de la recién formada cordillera. Hacia el Sur, estos conglomerados pasan, por tránsito lateral, a oligoceno de facies normal que se deposita en forma de potentes espesores de margas continentales rojizas, y de areniscas, en la cuenca del Ebro.

En las zonas recién plegadas y en distintos puntos del límite meridional de nuestra reserva, se señalan movimientos durante todo el oligoceno, que se manifiestan muy visiblemente al Sur de San Lorenzo de Morunys, donde las capas de conglomerados presentan discordancia progresiva que indica que se depositaban sedimentos horizontales, según se iban plegando las capas. Pero al final del oligoceno se recrudeció la actividad orogénica con movimientos de fase sálica. Durante ellos se plegaron violentamente las zonas más marginales, que no habían sido afectadas por los movimientos pirenaicos, y se acentuaron los pliegues de esta edad, produciéndose cabalgamientos y contactos anormales facilitados por la plasticidad de las margas del Keuper y adquiriendo el Pirineo en esta época su estilo tectónico propio y característico.

A principios del mioceno se produce un gran accidente tectónico que pone en contacto, por cobijadura, las capas secundarias y eocenas con el oligoceno de la cuenca del Ebro, y la actividad orogénica se manifiesta por los fenómenos volcánicos y la producción de fracturas.

Esta es, a grandes rasgos, la historia de la formación de las capas y pliegues que forman los Pirineos en la zona reservada y en sus proximidades.

Debemos hacer notar ahora un hecho de la mayor importancia, derivado de la complicada serie de transgresiones y regresiones que, según hemos expuesto, se sucedieron en el geosinclinal pirenaico. Por el estudio geológico de las zonas reservadas, sabemos que no se puede atribuir demasiado valor al conocimiento de la serie estratigráfica, en un punto determinado, para predecir qué terrenos habrá en el subsuelo de sus proximidades y sus espesores, pues los terrenos

presentan rápidos cambios laterales en sus características y espesores y son frecuentes las soluciones de continuidad estratigráficas; es decir, que en cada macizo o unidad tectónica de las que componen las diferentes sierras en nuestra zona, faltó una cierta cantidad de elementos estratigráficos del jurásico, cretáceo o eoceno; pero, aparte variaciones notables de espesor, los sedimentos de la misma edad presentan bastante semejanza en sus distintos afloramientos. En un tiempo trataba de explicarse este fenómeno suponiendo que, por efecto de arrastres en masa, quedaban en contacto elementos depositados a grandes distancias; pero hoy, y después de los estudios de eminentes especialistas en la materia, se ha puesto de manifiesto que las diversas unidades tectónicas proceden todas del mismo surco sudpirenaico, que aunque de características muy homogéneas en toda su extensión durante cada período geológico, experimentó muy complejos y rápidos movimientos epirogénicos, y todas están en contacto por pliegues muy violentos, fallados y cabalgantes.

Las variaciones estratigráficas se explican, pues, por los movimientos epirogénicos, por la distinta posición más o menos central o marginal en su surco y por el acortamiento del espacio original.

Las discontinuidades se salvan por paso lateral rápido o por los elementos ocultos bajo los correspondientes cabalgamientos.

Una de estas unidades tectónicas independientes de las que constituyen las sierras secundarias sudpirenaicas es el anticlinal objeto de nuestro trabajo.

IV. DESCRIPCIÓN DEL ANTICLINAL

El plano adjunto representa la geología de la zona en que está enclavado el anticlinal de La Rúa-Gabarra, a escala 1/25.000.

El substratum de todos los terrenos está constituido aquí por el Keuper, pero sus afloramientos están relativamente alejados, y son los más próximos el del diapiro de Montmagastre y los pequeños asomos de Montanissell y de las sierras de Turp y de Rialp.

Los más cercanos afloramientos de alguna consideración se encuentran en Gerri de la Sal, en las proximidades del paleozoico, y en Alós de Balaguer, don-

de está relacionado con pliegues del tipo eyectivo de Stille.

Las capas del Keuper son, como ya hemos dicho, margas rojas salíferas y yesos de características mecánicas tales, que han actuado como elementos de despegue en los plegamientos.

Las capas del jurásico y del cretáceo inferior, apenas aparecen en la zona que representa nuestro plano, pero sabemos que existen bajo las capas del senonense que afloran en casi toda su superficie.

Ya hemos dicho que hay que desechar la idea de que las sierras comprendidas en nuestra reserva se hayan formado por mantos de corrimiento, y que, por el contrario, proceden, por orogénesis violenta, del continuo y móvil surco geosinclinal sudpirenaico, la cual dió lugar a la formación de unidades tectónicas enlazadas por cabalgamientos.

Uno de ellos, comprendido en nuestro plano, se pone de manifiesto por la falla que desde el Noroeste de Abella de la Conca pasa por el Sur del Boixols y por la roca de Sept Comelles. Los terrenos al Norte de esta falla presentan, en sucesión normal, una serie de estratos secundarios que comprenden, entre otros, el jurásico y el cretáceo inferior y cuyos afloramientos más próximos están al Norte de Sellent, o sea cuatro kilómetros y medio al Norte de Valldarques.

Las capas liásicas y del Infracretáceo aparecen igualmente al Sudeste de nuestro plano, entre el vértice Coll de Creus y el pueblo de Peramola, y de ellas se pasa por contactos normales a las capas del senonense de las alturas del Coll de Creus.

Por último, las capas liásicas y aptenses aparecen ocho kilómetros al Sur-Sudoeste de Benavent, en término de Santa María de Meyá, formando parte del Montsech, y existe la evidencia de que bajo el recubrimiento del oligoceno, estas capas se enlazan con las que hemos citado últimamente.

Los mares jurásicos y los del cretáceo inferior se extendían, pues, por toda la superficie representada en nuestro mapa. Pero, para apreciar las características de los terrenos que esperamos existan bajo esta zona, debemos referirnos de preferencia a los sedimentos que afloran al Este de la misma, pues, entre ellos y nuestra zona, se establece una continuidad manifiesta y las diferencias que puedan existir, debidas a cambios laterales, no serán demasiado marcadas,

dada su corta distancia. En cambio, los terrenos situados al Norte, aunque relativamente próximos en la actualidad, se depositaron a considerable distancia y se han aproximado a consecuencia de los plegamientos de modo notable, pues su contacto se establece hoy a través de una falla que marca el cabalgamiento de los terrenos situados al Norte, que forman parte de un pliegue volcado, fallado y cabalgante desaparecido hoy, en parte, por erosión.

Si consideramos, pues, las características y espesores de las capas jurásicas e infracretáceas en los afloramientos del Este de la zona representada en el mapa, podemos suponer que bajo las capas senonenses encontraremos *200 metros de jurásico* compuesto por:

- 80 metros de calizas y calizas dolomíticas retienses.
- 50 metros de calizas grises arenosas fosolíferas y margas arcillosas con grypneas del Liásico, y
- 70 metros de calizas dolomíticas y dolomías del Dogger.

Sobre las capas jurásicas suponemos se hallarán alrededor de 300 metros de calizas oscuras en gruesos bancos que representan el urgoaptense y 50 metros de calizas y margas del aptense, entre las que tal vez se encuentren bancos arenosos, como sucede en el Montsech, si bien no es fácil que se prolonguen hasta esta zona las facies albenses con lignitos de esta sierra.

La estratigrafía detallada del senonense en la zona representada en el plano está aún, por nuestra parte, en período de estudio, pues creemos no se encuentra suficientemente definida.

Por una parte, los trabajos más recientes atribuyen al campaniense las capas más bajas de las que pone al descubierto la erosión del río Rialp, pero bien pudiera suceder que perteneciese al santonense.

Los afloramientos senonenses de la vecina sierra de Turp comienzan por 300 metros de santonense, compuesto por alternación de bancos calizos y margosos muy fosilíferos, y sobre ellos descansan las clásicas calizas campanienses con espesor de 500 metros y también clasificadas por sus fósiles.

En la zona denudada por el río Rialp, esta clasificación no está tan clara. La primera dificultad para realizarla estriba en lo escabroso del terreno, casi totalmente desprovisto de caminos y cubierto de bosques, por lo que se hace muy penoso transitar por las

empinadas laderas del profundo valle que ha excavado el río y difícil reconocer los afloramientos de las capas que, además, suelen estar cubiertos por los derrubios cuaternarios. Otra dificultad reside en que el mapa topográfico con el que hubimos de trabajar no refleja con perfección la forma del terreno; el reparto de las curvas de nivel hace suponer que se trata de laderas con pendiente uniforme, siendo así que tienen perfil escalonado producido por la alternación de capas duras y blandas.

Por todo ello, se hace difícil situarse en el terreno e identificar las capas en los distintos lugares y, por lo tanto, dibujar con exactitud el mapa geológico.

En el mapa hemos representado por C1 el paquete de capas alternativamente calizas y margosas que afloran en las laderas del río Rialp, desde el Sur de la Rúa hasta un kilómetro al Sur de la casa de las Cots.

Estas capas desaparecen buizando al Norte, al Sur de la Rúa, bajo potente capa caliza que debe pertenecer al campaniense, pues en ella se encuentra briozoos, trozos de equínidos, púas de equínidos y tallos de crinoides espatizados con el aspecto que en otros lugares presentan las calizas compactas con HIPURITES del campaniense; pero, en cambio, encontramos en ella TEREBRATELLA DIVARICATA, LEYM., que suele ser incluida en el maestrichtiense.

La atribución de terrenos que hacemos en el mapa tiene carácter en cierto modo esquemático. En la casa de las Cots hemos recogido ejemplares de LIMA CATALAUNICA VID., que fué clasificada por Vidal como perteneciente al santonense, y, por ello, suponemos que las capas inferiores de la mancha designada por C1 pertenecen a este terreno y la existencia de capas alternativamente calizas y margosas está de acuerdo con su carácter litológico en los alrededores, principalmente en la Sierra del Turp, como ya hemos dicho.

Sin embargo, las capas superiores de esta mancha deben pertenecer al campaniense que, en este caso, presentará aquí la particularidad de contener capas margosas entre sus calizas, pues, de otro modo, el santonense sería demasiado potente y el campaniense de demasiado poco espesor. Pero como estas atribuciones las hacemos sin fundamentarlas debidamente con datos paleontológicos, nos ha parecido mejor atenernos al carácter litológico y hemos señalado con C1 las capas de margas y calizas y con C2 las calizas que descansan sobre ellas.

Creemos, sin embargo, que con el reconocimiento más detenido del terreno que realizamos con un nuevo plano a escala 1/10.000, llegaremos a suprimir esta indeterminación.

La prolongación de la mancha C2, primero, hacia el Sur y, luego, hasta las alturas de Coll de Creus y Coscollet, pertenece de modo indudable al campaniense. Lo mismo decimos de las calizas que en Abella de la Conca y Boixols están en contacto anormal con las margas maestrichtienses.

El maestrichtiense presenta en la zona de nuestro mapa gran desarrollo superficial y potencia que excede de 1.000 metros. Comienza por margas grises verdosas o azuladas entre las que aparecen frecuentemente capas de finas areniscas calcáreas de facies del Flysch.

Estas margas las hemos representado en nuestro mapa por C3, y en ellas hemos encontrado algunos fósiles.

Al Sudoeste de la Rúa, en la cota 1.200, hemos recogido: briozoos, espongiarios, y equínidos inclasificables, RHYNCHONELLA CAMARCKIANA RHYNCHONELLA CON TORTA, D'ORB, y algunos ejemplares de los géneros INOCERAMUS, PECTEN, NEITHEA y EXOGIRA.

Al Este de Llordá algunas especies de HIPURITES.

Al Oeste de Gabarra:

RHYNCHONELLA EUDESI COQ

» DIFORMIS D'ORB

y al Sur de Gabarra ejemplares de los géneros MICRASTER, LIMA PECTEN, NEITHEA y EXOGIRA.

Entre las margas se intercala un nivel de arenisca C4 calcárea, basta, de potencia irregular, pero que, en los montes de Carrasqués, tiene espesor máximo de 370 metros y manifiesta tendencia al acúñamiento hacia el Sur y hacia el Oeste.

El maestrichtiense se corona, como en la provincia de Huesca, con 250 metros, como máximo, de capas de areniscas calcáreas, de grano en general basto, con algunas intercalaciones de margas que hemos designado por C5.

Sobre ellas descansan las capas garumnenses C6 con espesor superior a 1.000 metros. Comienzan por algunas capas de areniscas difícilmente discernibles de las maestrichtienses, pero que, en las proximidades de la presa del embalse de San Antonio, en el Nogue-

ra Pallaresa, han sido clasificadas por hallazgo de *LYCHNUS SANCHEZI*, VID, y de restos de vertebrados.

Sobre las areniscas se asienta compleja y potente serie de margas y calizas lacustres de tonos grises. Entre ellas hay capas de lignitos que se explotan en diversas minas. Existen algunas intercalaciones de capas marinas con *HIPPURITES CASTROI* VID y *OSTREAS*, pero las capas de lignito están bajo un potente banco de *CYRENAS*.

El garumnense continúa por las margas rojas de la Conca de Tremp, de gran espesor, con bancos intercalados de calizas fétidas, y otros de conglomerados de finos elementos silíceos muy redondeados.

Una potente capa caliza gris pone fin al garumnense, pero continúa el tramo de las margas rojas representando el ipresense continental con idéntica facies que las garumnenses.

Al Oeste de nuestro mapa están aún representados el ipresense marino y el luteciense.

Las capas de los conglomerados del oligoceno se apoyan en discordancia sobre el senonense plegado con potencia creciente hacia el Sur y casi horizontales o con ligero buzamiento Sur, que pasan lateralmente hacia el Sur a oligoceno de facies normal.

En el plano pueden verse los buzamientos de las capas que hemos medido en el terreno.

A la simple inspección del mapa se pone de manifiesto la existencia de una cúpula anticlinal de suaves pendientes, puesto que los buzamientos de sus capas no son nunca superiores a los 40 grados y se mantienen, en general, entre 20 y 30 grados.

Su mitad occidental es claramente visible en el terreno, pues dibujan su contorno las areniscas del maestrichtiense superior, que desde el vértice San Quiri, donde buzan al Sur, pasan por el pueblo de Biscarri, sufren una inflexión en Llordá tomando dirección Norte y buzamiento Oeste hasta la carretera de Isona a Coll de Nargó, desde donde con dirección Nordeste y buzamiento Noroeste se dirigen al Collado de la Balsa de Faidella.

Su mitad oriental no es tan claramente visible en el terreno, pero puede observarse la variación de dirección y buzamientos de las capas de areniscas C4 intercaladas en las margas maestrichtienses, que forman las alturas de Carrasqués al Este del río Rialp.

Los cierres de esta estructura son los siguientes:

Al Oeste cierre periclinal, perfectamente visible en el terreno.

Al Norte las capas tienen buzamiento Norte hasta la gran falla de Abella-Boixols, al Norte de la cual aparecen las capas campanienses buzando al Sur y en contacto anormal con las margas y areniscas maestrichtienses a lo largo de un estrecho comprimido sinclinal de relleno garumnense cuya estructura puede verse claramente en el corte núm. 1.

Por el Este hay cierre periclinal menos visible en el terreno que el del Oeste.

Y por el Sudoeste y Sur las capas hacen también cierre, puesto que forman un sinclinal cuya trayectoria hemos dibujado en el plano. Comienza al Este del Cap de les Arquedes, pasa por el pueblo de Garra, es perfectamente visible en el corte del río Rialp, desaparece bajo el recubrimiento del oligoceno, y hemos comprobado su existencia al Oeste de Benavent donde en las capas garumnenses hemos medido los buzamientos que se indican en el plano.

Tenemos, pues, en esta zona una cúpula anticlinal que, como hemos dicho, constituye una de las estructuras ideales para el almacenamiento del petróleo.

Las capas senonenses que las constituyen fueron plegadas por los movimientos pirenaicos ante-oligocenos y sobre ellas se depositaron discordantemente los conglomerados oligocenos.

La actuación de los movimientos sávicos, de finales de oligoceno, acentuó los pliegues cretáceos y produjo otros suaves en los conglomerados oligocenos.

Hemos dibujado tres cortes geológicos que se adjuntan para dar idea de la disposición de las capas.

En el núm. 1, de dirección aproximada Norte-Sur, se ve el anticlinal que forman las capas maestrichtienses y la tendencia al acunamiento hacia el Sur de las capas de areniscas C4.

Como el corte pasa por los montes de Cidamal, de elevada cota, pudiera pensarse que las areniscas C4 y las margas maestrichtienses C3, constituyen los terrenos más bajos de los que afloran en el núcleo del anticlinal, pero para evitar esta confusión hemos dibujado el corte núm. 2 a lo largo del río Rialp.

Este corte situado unos 2 kilómetros al Este del anterior y casi paralelo a él, permite ver cómo la disposición de las capas es semejante a las del corte nú-

mero 1, pero, en cambio, se aprécian en él los efectos de la denudación del río Rialp, que ha tajado completamente las margas maestrichtienses, el banco de caliza que hemos designado por C2 y el paquete C1 de margas y calizas cuyas capas inferiores corresponden probablemente al santonense.

El corte núm. 3, de dirección Este-Oeste, y, por lo tanto, casi perpendicular a los anteriores, pone perfectamente de manifiesto la disposición anticlinal de las capas y los efectos de la denudación del río Rialp.

Como este río corta las capas precisamente por la parte más elevada del anticlinal, y es allí donde deben hacerse los primeros sondeos de investigación, coincide la condición de emplazamiento del sondeo con vistas a la investigación, con la conveniencia de situarlo en un punto topográficamente bajo, con lo que la longitud del sondeo se reduce al mínimo.

Se ve, en efecto, en el corte núm. 3 que, por ser la garganta excavada por el río, de muy empinadas laderas, a poco que nos alejemos de aquél, en seguida tenemos diferencias de cota que pueden alcanzar los 500 metros.

Observando los buzamientos del mapa, vemos que, si trazásemos, además, dos cortes, pasando por el cruce de los cortes 1 y 3, pero de direcciones Noroeste y Nordeste, darían para las capas casi igual disposición, con lo que se muestra lo perfecto de esta estructura en relación con sus condiciones para almacenar petróleo.

Las dimensiones aproximadas de esta estructura son de 10 kilómetros de Este a Oeste y 7 kilómetros de Norte a Sur.

Sin embargo, aún se prolonga hacia el Oeste unos kilómetros más, pues el periclinal dibujado por las areniscas maestrichtienses, en Llordá, penetra en la cuenca de Tremp donde es visible en las margas garumnenses por Bastús y por el Sur y Oeste de Figuerola de Orcau, aunque esté parcialmente oculto por los sedimentos cuaternarios de los alrededores de Isona y del Mont de Conques.

Consideraremos ahora las posibilidades petrolíferas del anticlinal, que son las siguientes:

1.^a Existen bajo esta estructura las margas del Keuper, en las cuales se ha podido formar el petróleo y ser exprimido de ellas por la acción de los mo-

vimientos orogénicos para acumularse en capas porosas superiores.

2.^a La cobertura del triásico está constituida por: 200 metros de jurásico (calizas, margas y dolomías). 400 metros de cretáceo inferior (calizas dolomíticas y margas).

300 metros de santonense, margas y calizas.

500 metros de campaniense, calizas y algunas margas.

1.200 metros de maestrichtiense, margas y areniscas calcáreas.

1.000 metros de garumnense, calizas y margas.

Un potente espesor de margas y calizas eocenas, aunque ya fuera del área del mapa.

Sobre las capas senonenses reposan los conglomerados del oligoceno.

3.^a En el conjunto de las capas indicadas puede haber capas porosas en las que se acumule el petróleo, dolomías en el jurásico, calizas dolomíticas fracturadas en el aptense, areniscas y calizas fracturadas en el santonense, etc.

4.^a Por la acción de los movimientos orogénicos estas capas han sido moderadamente plegadas y forman una cúpula anticlinal.

5.^a Existen con toda seguridad convenientes espesores de margas impermeables, y que, por lo tanto, pueden proteger el posible yacimiento impidiendo la emigración del petróleo.

6.^a No existen soluciones de continuidad estratigráficas entre las posibles capas y sus «tapas» impermeables, por lo que desaparece la posibilidad de que el petróleo acumulado en las capas permeables haya tenido ocasión de abandonarlas.

El primer sondeo de investigación en esta estructura debe situarse en las proximidades del río Rialp y entre 2 y 3 kilómetros al Sur del pueblo de la Rúa, pues allí está la parte más elevada del anticlinal.

No nos debemos separar mucho del río, pues, como las pendientes de las laderas del paso que ha excavado son muy fuertes, a poco que nos alejemos del río nos colocamos más elevados en la serie estratigráfica y aumentamos notablemente la profundidad del taladro. Asimismo, dispondremos de agua en cantidad suficiente.

El sondeo debe situarse en la margen izquierda del río, pues así puede construirse una carretera hasta el mismo desde la que va de Isona a Coll de Nargó, y des-

viarse de ella cuando se llega al valle del río Valldarques. El desarrollo de esta carretera, que necesita descender desde la cota 1.300 hasta la 900, no debe ser inferior a seis kilómetros, para que tenga pendiente media de 6,6 %, pero, con toda seguridad, que gran parte del camino podrá hacerse aprovechando alguna de las carreteras de desbosque que existen por estos parajes.

Supuesto que se sitúe el sondeo en las proximidades del lugar que hemos designado como más apropiado para realizar la investigación, es decir, en la margen izquierda del río Rialp y próximamente a dos kilómetros al Sur de la Rúa, tendremos que atravesar, como mínimo, los siguientes espesores de terreno antes de llegar al triásico:

300	mts. de calizas y margas santonienses.
400	» de infracretáceo.
200	» de jurásico.
900	» en total.

Estos espesores pueden hacerse algo mayores si los estratos tuviesen inclinación y no fuesen horizontales, pero, sobre todo, porque realmente no sabemos qué espesores tienen los sedimentos que pensamos cortar, pues los calculamos por analogía con otros situados a distancias relativamente grandes, y no serían de extrañar cambios en sus características y espesores, sobre todo en los del cretáceo inferior, que podrían tener potencia mucho mayor que la indicada.

Podemos indicar, además, a este respecto que, por ejemplo, el maestrichtiense, experimenta notable cambio de facies entre nuestra zona y el Montsech, pues en dicha Sierra pierde su carácter margoso, se confunde con las calizas campanienses, y sólo son discernibles las capas de calizas arenosas superiores, equivalentes, sin duda, a las areniscas C5.

Por todo esto, indicamos como prudente actuar con una sonda que sea capaz de alcanzar por lo menos DOS MIL METROS.

Dado lo alejado que del punto del sondeo están las líneas eléctricas en las que se puede realizar el enganche a fin de proveerse de energía para ejecutar el sondeo, éste tendrá que hacerse con motores de «gas-oil».

También debemos decir que la investigación en esta zona, que reúne tan buenas condiciones estructurales, no debe limitarse a un solo sondeo, sino a varios, pues tenemos muy fundadas esperanzas de que en ella haya petróleo.

En efecto, aunque hemos afirmado que la roca madre petrolífera pertenece al Keuper, realmente no sabemos con certeza si esto es así; lo que sí sabemos con seguridad es que existe, ya que en Boixols, situado en el área de nuestro plano, se hallan hidrocarburos en huecos de las margas calcáreas santonienses, y ese petróleo se ha tenido que originar en alguna roca subyacente. También es de notar que las calizas dolomíticas del urgo-aptense, que deben encontrarse bajo la estructura, están, en algunas zonas, impregnadas de hidrocarburos.

Lo que ya no es tan seguro es que se haya formado el yacimiento secundario, y menos aún que éste sea explotable, pues realmente no sabemos si existen o no rocas con porosidad y permeabilidad suficientes para formar un buen yacimiento, aunque, desde luego, no es improbable. Así, puede haber areniscas en la base del santonense y calizas y dolomías fracturadas en el infracretáceo y en el jurásico. Pero como puede suceder que las condiciones de porosidad y permeabilidad no se cumplan en toda la extensión de las capas en que se manifiestan, sino que estén limitadas a determinadas áreas de las mismas, cuya situación no podemos determinar de antemano, nos parece conveniente ejecutar varios sondeos antes de dar por fracasada la investigación, sobre todo si en el primer sondeo se cortan gases o se comprueba la existencia de otros indicios petrolíferos.

La necesidad de situar estos sondeos alejados del primero nos obligará a situarnos en lugares de mayor cota y, por tanto, a perforaciones más profundas.

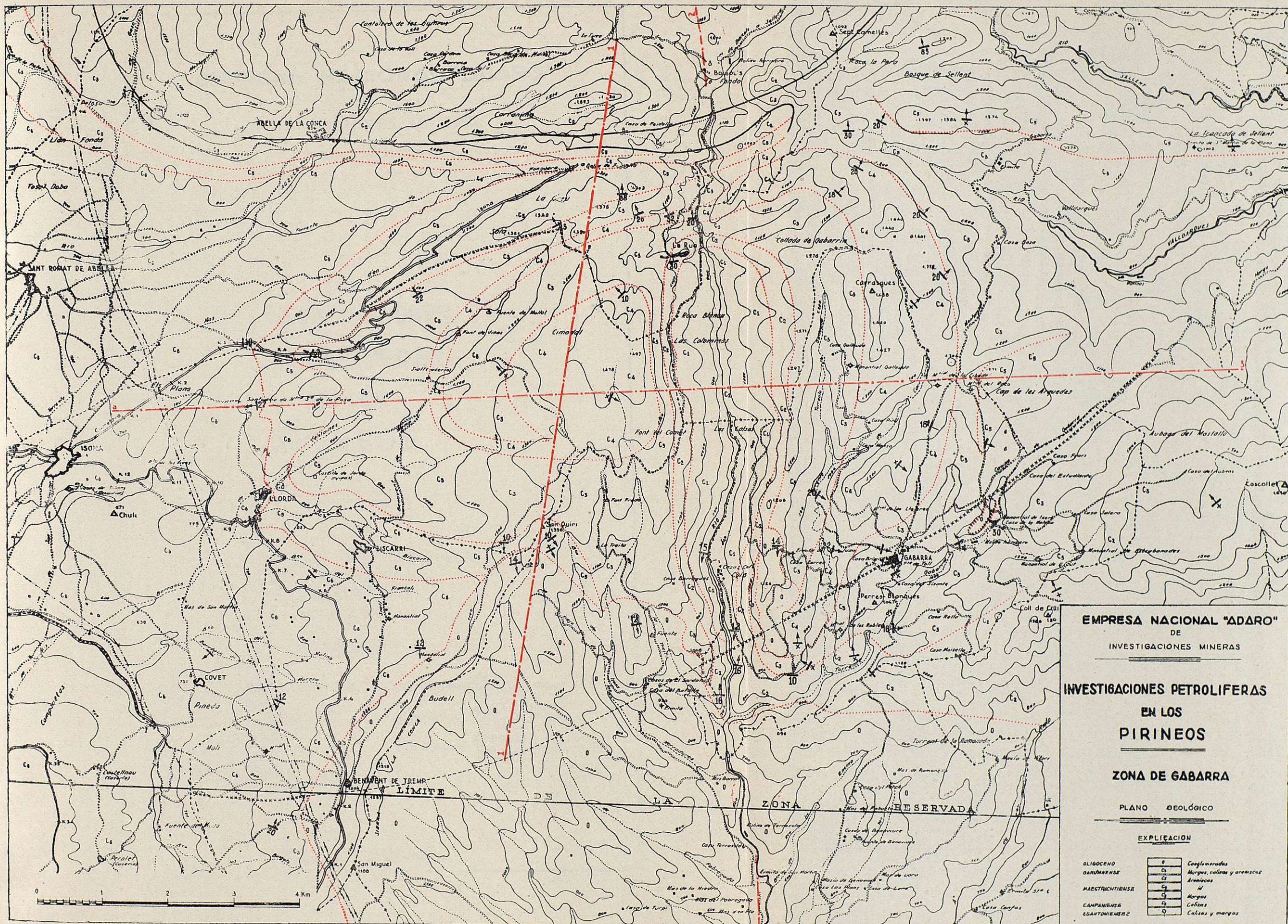
Creemos que, siguiendo en el plano y cortes geológicos este breve resumen, es posible darse idea clara de la disposición y características del anticlinal de la Rúa-Gabarra y de la conveniencia de efectuar en él sondeos de investigación de petróleo, al perforar los cuales no debemos perder de vista los alentadores resultados conseguidos en Francia en zonas situadas simétricamente respecto de la nuestra con relación al eje de los Pirineos, con terrenos geológicos equivalentes a los nuestros y con tectónicas semejantes, y en donde las explotaciones de hidrocarburos gaseosos y líquidos adquieren cada día más importancia.

Madrid, mayo 1950.

(Véanse en las páginas inmediatas siguientes el plano y cortes geológicos correspondientes a este trabajo.)

Terminada esta lectura el Sr. Presidente se congratula de la coincidencia, en lo que es básico, de las conclusiones presentadas, y hace a continuación sucinta exposición panorámica del estado actual del problema de los combustibles líquidos en España, poniendo de relieve los trabajos de Campsa, Cepsa, Refinería de Petróleo de Escombreras y "Calvo Sotelo", que en estos últimos años, con sus realizaciones y proyectos, vienen resolviendo este problema de modo satisfactorio para los intereses de la Patria.

Se levanta la sesión a las veinte horas.



EMPRESA NACIONAL "ADARO"
DE
INVESTIGACIONES MINERAS

INVESTIGACIONES PETROLIFERAS
EN LOS
PIRINEOS

ZONA DE GABARRA

PLANO GEOLOGICO

EXPLICACION








OLIGOCENO	0	Conglomerados
DARUMENSE	C ₁	Margas, calizas y areniscas
	C ₂	Areniscas
MAESTRCHTIENSE	C ₃	id.
	C ₄	Margas
CAMPANIENSE	C ₅	Calizas
ESANTONIENSE	C ₆	Calizas y margas

EMPRESA NACIONAL "ADARO"
DE
INVESTIGACIONES MINERAS

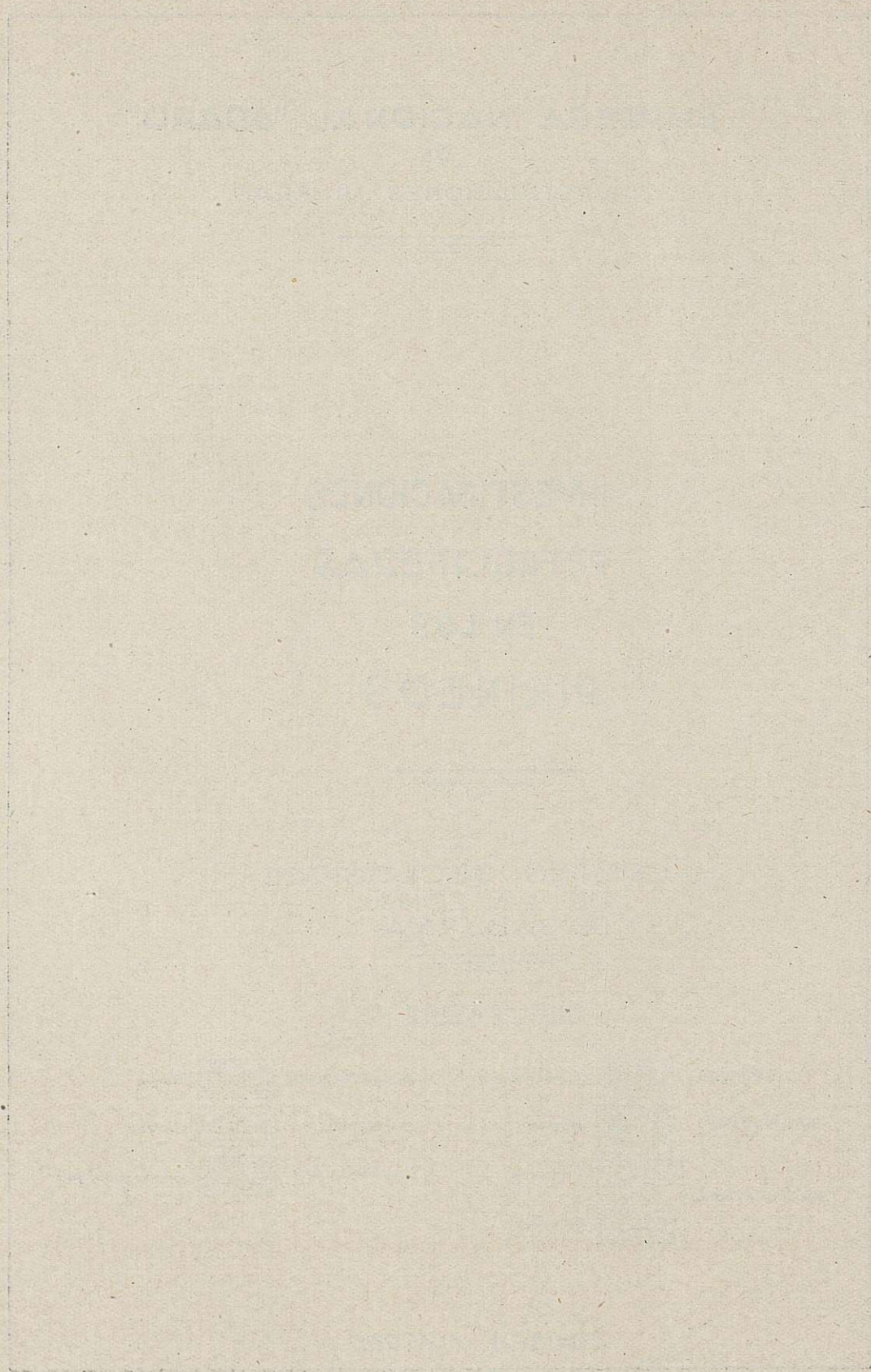
INVESTIGACIONES
PETROLIFERAS
EN LOS
PIRINEOS

CORTES GEOLÓGICOS
DE LA ZONA
DE GABARRA

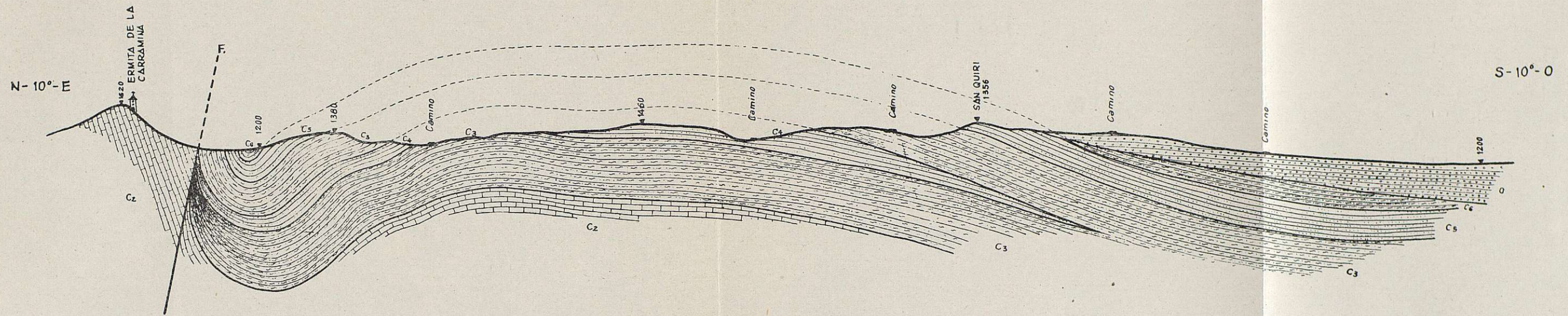
EXPLICACIÓN

OLIGOCENO		Conglomerados	MAESTRICHTIENSE		Margas
GARUMNENSE		Margas	CAMPANIENSE		Calizas
MAESTRICHTIENSE		Areniscas	¿SANTONIENSE?		Calizas y margas
		Areniscas			

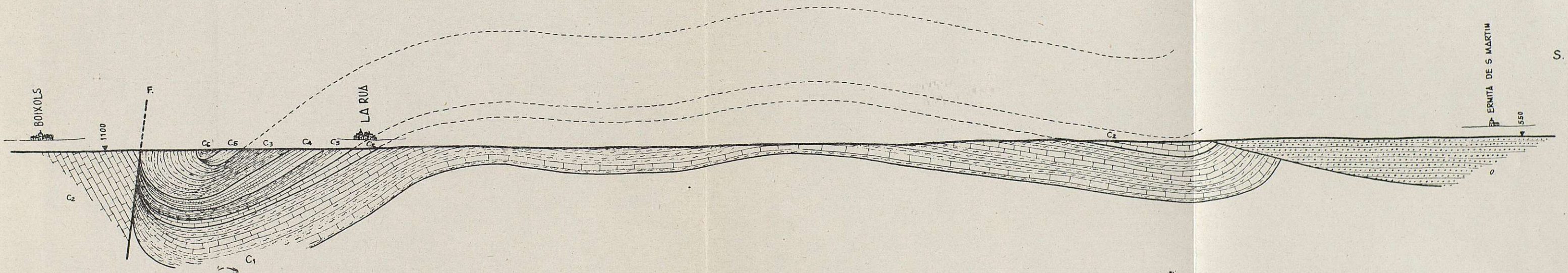
ESCALA 1:25.000



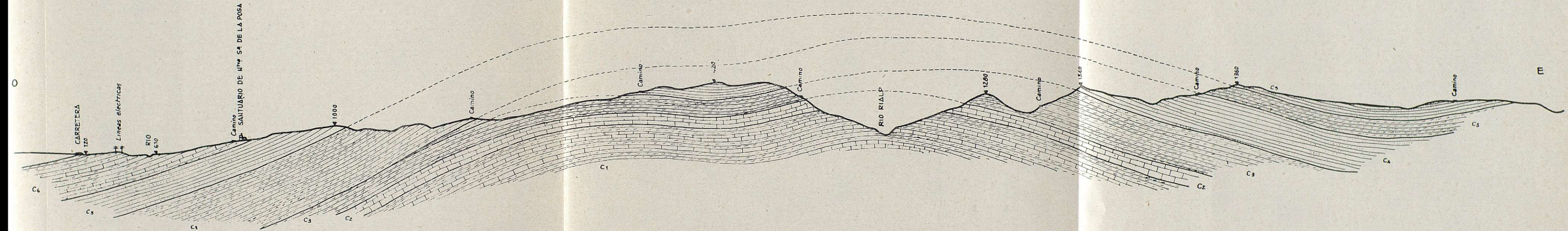
1- San Quiri a Ermita Carramina.



2- Rio Rialp.



3- Ermita de la Posa al Este.



SECCIÓN 3.^a

II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

(28 de mayo a 3 de junio de 1950)

ACTA DE LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 30 DE MAYO DE 1950

A las once de la mañana del día 30 de mayo, bajo la presidencia de D. José María Soler, que la ostenta por no poder asistir el titular de la Sección, se da comienzo a la exposición por parte de los autores de los distintos trabajos que figuran en el orden del día. Actúa de Secretario D. Cristóbal Fernández Prieto, Ingeniero Industrial.

D. Enrique Borrás Brucart, con la venia de la Presidencia, da lectura a su trabajo:

N.º 24. - La carbonización como aprovechamiento racional del carbón y su influencia en la economía nacional

Autor: D. ENRIQUE BORRÁS BRUCART

Ingeniero Industrial

PREÁMBULO

Carbonización es el conocido e interesante proceso a que se someten, en vaso cerrado, los combustibles sólidos para obtener por la acción única del calor, y a través de una serie de fenómenos sumamente complejos —no bien explicados científicamente, a pesar de los trabajos de Burghes y de Weheler, Pietet, Fischer, King, Willgress, etc.—, nuevos productos combustibles de más apreciadas cualidades y variados compuestos orgánicos e inorgánicos indispensables en la vida moderna de todos los países para su productividad industrial y sus necesidades domésticas.

Por carbonización se consigue una revalorización de los menudos de los carbones, transformándolos en otros de mayor tamaño, y se obtiene una serie extensísima de productos que no existían en el producto original, y sin cuyo proceso térmico es imposible obtener de él.

Los principales son:

Combustibles sólidos.—Coque metalúrgico, coque y semi-coque industrial y doméstico, antracitas artificiales, semi-coque de lignito.

Combustibles gaseosos.—Gas para usos domésticos e industriales.

Combustibles líquidos y compuestos orgánicos.—Al-

quitrán, proto-alquitrán, alquitrán preparado para carreteras, brea, parafina, antraceno, naftalina, creosota, piridina, aceites pesados, medios y ligeros, «solvent-nafta», benzol, toluol, xilol, esencias, fenoles, etc.

Aguas amoniacaes concentradas, álcali volátil, sulfato amónico, cloruro amónico, azufre, azul de Prusia, etc.

Esta serie de productos, cuya técnica de producción y aplicaciones eran desde hace tiempo conocidos, se ha visto aumentada modernamente, gracias a novísimos progresos en el campo de la técnica y de la química del carbono, con nuevos productos y aplicaciones que elevan todavía más la importancia de la carbonización, reafirmando a ésta como una de las industrias fundamentales en la actividad económica de los países más adelantados.

Estos nuevos productos y aplicaciones son, principalmente, los siguientes:

Productos derivados directamente del carbón...

Preparación de gases de síntesis por carbonización y gasificación de hullas y lignito. (Hornos Didier, Pintsch-Hildebrand, Schmalfeldt, Demag, Koppers.)

Productos derivados del gas procedente de carbonización. (Por condensación y destilación fraccionada)

Hidrógeno: Fabricación sintética del amoníaco NH_3 y sus derivados; ácido nítrico, nitratos, sulfato amónico, urea, etcétera. Obtención de hidrógeno puro para procesos de hidrogenación.

Metano (conversión del CH_4 en $\text{CO} + 2\text{H}_2$): Fabricación del metanol o alcohol metílico y demás derivados, formol, exametileno y resinas sintéticas. Grupos: Formol-fenol y Formol-urea.

Etileno: Derivados del etileno; alcohol etílico, éter etílico, óxido de etileno, glicol, etanolamimas, éteres de glicol, acetonas, resinas meta-acrílicas.

Productos derivados del alquitrán... ..

Lubrificantes de alta calidad por hidrogenación del alquitrán de carbonización a alta temperatura.

Carburantes, lubricantes y cuerpos grasos por hidrogenación de alquitranes primarios obtenidos por carbonización a baja temperatura.

Productos derivados del coque y semi-coque... ..

Gases para síntesis Fischer-Trops, por gasificación del coque, carbonilla de coque y semi-coque pulverulento, en gásgenos a presión Winckler, Lurgi, etc.

Productos derivados de los compuestos sulfurados del gas ...

Fabricación de: anhídrido sulfuroso líquido, sulfuro sódico cristalizado, ácido sulfúrico, azufre puro en polvo, etc.

Gas carburante para tracción en motores de explosión y combustión.

Aplicaciones del gas comprimido

Gas comprimido para distribución a distancias por tuberías.

CARBONIZACIÓN DE DISTINTAS CLASES DE CARBÓN

Las clases de carbón cuya carbonización puede ser interesante comprenden desde los menudos de carbones antracitosos hasta los lignitos.

Los carbones más apropiados son las hullas grasas, de llama larga y corta, que al carbonizarlas sufren el fenómeno de fusión y aglomeración, dando lugar a la formación de coque y semi-coque. Los demás carbones necesitan adición de un aglomerante, generalmente brea, para obtener un producto sólido de mayor tamaño del primitivo del que se parte. Excepcionalmente, algunos lignitos y la turba son autoaglomerables por presión (1.800 a 2.000 kgr/ Cm^2) sin necesidad de brea. Las briquetas formadas después de carbonización son duras y compactas, y resisten suficientemente los choques y manipulaciones.

Naturalmente, cada clase de carbón requiere una técnica diferente, y aún en una misma clase puede variar aquélla según los productos finales que se deseen obtener.

Sería extensísima la descripción, aunque fuera somera, de los diversos procedimientos que se utilizan con aquella finalidad. No vamos a hacer una exposición de estos procedimientos, sobradamente conocidos, pero daremos algunas indicaciones sobre la orientación seguida por la técnica moderna aplicada a los carbones más característicos.

CARBONES ANTRACITOSOS Y HULLAS MAGRAS.—La carbonización de los menudos de estos carbones aglomerados con brea, permite la revalorización de éstos y los transforma en otros de mayor tamaño y de características parecidas a las antracitas, por lo que han recibido el nombre de *antracitas artificiales*.

Las antracitas artificiales son fáciles de encender, queman sin humo, se comportan bien en el fuego del hogar, y, una vez alcanzada la temperatura de infla-

mación, desprenden, por radiación, una gran cantidad de calor notablemente superior a la de los aglomerados crudos.

El procedimiento recomendable para la fabricación de este producto, cuando no se desea aprovechar los gases de la carbonización, es la carbonización en cámaras, con calefacción por vía interna, mediante gases inertes producidos por combustión de los gases desprendidos en la carbonización, precalentados a 700° C. y circulando en circuito cerrado por tres a cuatro cámaras sucesivas.

La temperatura de cocción debe ser, como mínimo, 600° C.

Únicamente en caso de tratar grandes cantidades de carbón y convenir el aprovechamiento de los gases (principalmente H₂) desprendidos en la carbonización, es aconsejable la utilización de hornos de calefacción externa, de construcción parecida a los de las fábricas de gas, pero en cámaras cuya anchura máxima es de 15 a 18 cm. y cuya altura no sobrepase los 4 m. Como la altura crítica de caída de los aglomerados crudos es del orden de 1,70 m., serían necesarios dispositivos especiales de carga para evitar la fragmentación al cargar los aglomerados en el horno.

HULLAS GRASAS DE LLAMA LARGA Y CORTA.—Estos carbones son los característicos de la carbonización, operación conocida desde el siglo XVI y practicada ya en el XVIII.

Hay gran variedad de hullas grasas que funden y aglomeran y, por lo tanto, coquizan, conteniendo proporción de materias volátiles que oscila entre 22 % a 36 %. La característica común a todas ellas es que durante la carbonización los granos de carbón sufren verdadera fusión, se sueldan unos con otros y modifican su textura interna química y físicamente, formando una masa, más o menos impermeable al gas, que a medida que aumenta la temperatura acrece la viscosidad, endureciéndose progresivamente y da lugar a la formación de un nuevo combustible sólido, homogéneo, de estructura más o menos porosa y fisurada con forma característica de coliflor, de composición química constante, independiente de la variedad de hulla de que procede y que depende únicamente en sus propiedades físicas, de la forma de comportarse en el tratamiento térmico, de la velocidad de calefacción y de la temperatura final a que ha sido sometida.

Todas las hullas grasas que coquizan funden a la

presión atmosférica a temperaturas que oscilan entre los 390° y 550° C.

Es muy posible que, a presiones elevadas, determinadas hullas no coquizables lleguen a fundir también a estas temperaturas, con lo que se ampliaría la gama de carbones coquizables conocidos.

A 450° C. ha ocurrido ya la destilación del alquitrán primario y la formación del semi-coque, pero para que éste sea suficientemente consistente y permita su manipulación es necesario alcanzar los 600° C. Para la formación del coque debe llegarse a los 900-1.000° C.

Naturalmente, que al conseguir la carbonización de las hullas una determinada finalidad (coque de determinadas cualidades para la industria siderúrgica, coque para usos industriales, coque y semi-coque para usos domésticos, gas para distribución a centros urbanos, alquitrán o combustibles líquidos, carburantes, lubricantes, etc), la técnica que se ha de seguir es diferente según el fin perseguido.

Podemos clasificar aquélla en dos grandes grupos:

Carbonización a alta temperatura (temp. final 900°-1.000° C.)
 » » baja » (temp. final 550°-600° C.)

En la carbonización a alta temperatura, a pesar de que modernamente se distribuyan grandes cantidades de gas de coquerías a centros urbanos y de que, en cambio, haya fábricas de gas que tienden a preparar un coque para usos metalúrgicos, deben distinguirse dos tipos de industria de técnica similar, pero que difieren mucho en cuanto a su concepción industrial y a los elementos de producción y dispositivos mecánicos accesorios. Estos dos tipos de industria son: coquerías y fábricas de gas.

Según el Profesor Padovani (Italia) la cantidad de hulla sometida anualmente a carbonización a alta temperatura representa casi el 30 % de la producción mundial de hulla. Ello da idea de la importancia de la carbonización en la economía mundial.

Carbonización a alta temperatura: coquerías.—La producción mundial de coque metalúrgico antes de la pasada conflagración era de unos 155 × 10⁶ Tn., repartido de la siguiente manera entre los principales países:

Millones de Tn.	
Estados Unidos	47,5
Alemania	40,8
Sarre	2,8
Inglaterra	15,0

Millones de Tn.

Francia	7,8
Rusia	20,0
Bélgica	5,8
Holanda	3,2
Polonia	2,1
Checoslovaquia	3,2
Canadá	2,1
Italia	1,4
Indias Inglesas	2,8
Manchuria	0,8
Australia	1,0
España	0,5

Es difícil, debido a la economía cerrada a que se han visto obligados a adoptar los países y a los precios que la situación actual provoca, conocer exactamente cuál habrá sido la producción real de coque metalúrgico de estos últimos años. Es muy posible que, aunque en algunos países esta producción ha disminuido, en otros, como Estados Unidos, Canadá, Australia, Inglaterra y Bélgica, haya aumentado en la misma o mayor cantidad. En definitiva, la cantidad de hulla sometida a carbonización en las coquerías no habrá variado mucho de la tratada antes de la guerra.

Las coquerías se instalan actualmente, siempre anexas a una siderúrgica o a un centro de fabricación de productos de síntesis (amoníaco, carburantes y compuestos químicos). *Hoy día no se construyen —por antieconómicas— coquerías autónomas con la única finalidad de producir coque metalúrgico.*

En las modernas coquerías siderúrgicas se ha conseguido un tan completo aprovechamiento de los excedentes de gas y calor —al conjugar perfectamente las disponibilidades y las necesidades de ambas industrias—, que se ha llegado a obtener un consumo de únicamente 1.500 Kg. de carbón crudo por tonelada de acero laminado, incluyendo en este consumo la energía eléctrica o mecánica necesaria en la instalación.

Otras coquerías siderúrgicas, en lugar de aprovechar íntegramente sus excedentes de gas, utilizan éstos para la fabricación de productos de síntesis o para distribución a distancia por tuberías a centros urbanos para usos domésticos e industriales.

La orientación actual de estas industrias es centralizar la producción en grandes unidades, a fin de reducir al mínimo los gastos de primera instalación y los de explotación.

La capacidad normal de tratamiento de las coquerías alcanza actualmente las 800-1.000 Tn. diarias de carbón.

Otra característica de las modernas coquerías es la importancia de las instalaciones de mezcla de carbones destinados a la coquización. Como debe ser constante la calidad del coque en lo que se refiere a su cohesión, tamaño, proporción de cenizas, azufre y aún a su reactividad, se ha concedido actualmente especial atención a buscar las mezclas de carbones más rentables y la corrección de defectos que determinadas hullas presentaban para su coquización. Es práctica corriente hoy día la mezcla heterogénea de hullas de tres o más procedencias (la coquería belga de Tertre se aprovisiona de carbones grasos, semi-grasos y magros de 12 procedencias diferentes) y la adición de desgrasantes, como polvo de coque de alta temperatura o de semi-coque de baja temperatura, con lo que se ha conseguido extender el empleo, para la fabricación del coque metalúrgico, de hullas que anteriormente estaban conceptuadas como no aptas para ello. La trituración y mezcla de carbones es considerada hoy día operación indispensable en las coquerías.

Otra característica moderna: La centralización de todos los órganos y aparatos de medición y gobierno de temperaturas, potencia calorífica, consumos de gas, etc., en un poste central desde donde es posible abarcar en cualquier instante el funcionamiento de la coquería y seguir sus perturbaciones eventuales.

Respecto a las dimensiones y características de los hornos de cámaras horizontales —únicos empleados por esta industria—, parece ser que las dimensiones máximas de las cámaras han podido ser fijadas en: 45-50 cm. de ancho; 13,5 m. de largo y 4,0-4,5 m. de alto.

El máximo número de cámaras que pueden agruparse en una batería es, probablemente, de 75, ya que no es aconsejable pasar de esta cifra debido a las dimensiones exigidas para los conductos de humos y chimeneas.

La tendencia constante en Alemania, Bélgica e Inglaterra es construir hornos «Compounds», susceptibles de ser calentados indistintamente con gas de 4.500 calorías o con gas de 900 cal./m³. Insistimos en que lo que caracteriza la coquería moderna es su marcha regular, pero dependiente siempre o aneja a una siderúrgica, cuyos flujos de energía térmica regulariza y transforma, o a un centro de fabricación de productos sintéticos (amoníaco o carburantes y productos químicos).

Fábrica de Gas.—La carbonización de la hulla en las

fábricas de gas puede decirse que data, como industria utilitaria de servicio público, del año 1810. Durante cien años su principal servicio fué el alumbrado. A partir de fines del siglo XIX la invención de los manguitos de incandescencia redujo a la octava parte el consumo de gas necesario para obtener la misma intensidad de iluminación. Al mismo tiempo, las fábricas de gas iniciaron su expansión y desarrollo como industria de calefacción en todos sus aspectos y principalmente en el de servicios domésticos. A partir de entonces su desarrollo e importancia ha ido en constante aumento, y ha llegado a ser en los países más adelantados una de las industrias básicas de la economía de los mismos. En Inglaterra, por ejemplo, el consumo de gas durante sesenta años, de 1885-1945, sufrió un aumento de 470 %, el número de abonados aumentó un 500 % y la longitud de la red de distribución un 400 %. En veinticinco años (de 1920-1945), en competencia con el desarrollo de la electricidad, el consumo de gas aumentó el 50 %. Esta expansión continúa en 1946 y 1947. Los consumos de gas correspondientes a estos años fueron los siguientes:

AÑO	Consumo de gas
1885	2.006.000.000 m ³
1920	6.217.639.200 »
1945	10.332.722.400 »
1947	14.016.000.000 »

Con cierta aproximación, puede decirse que las dos terceras partes del consumo de 1948 se destinaron al consumo doméstico y la tercera parte restante a usos industriales, comerciales y varios. Contrariamente a lo supuesto por algunos economistas en 1939, el consumo de gas no ha alcanzado todavía, ni aún en Inglaterra, el límite de saturación. El progresivo desarrollo de estas industrias ha continuado durante los últimos años en todo el mundo, tanto en lo que se refiere al número de abonados, como al consumo medio por abonado-año.

Naturalmente, ha habido épocas en que el consumo de gas, siguiendo los movimientos pendulares en la economía, ha sufrido estancamientos periódicos, y, en determinadas ocasiones, hasta algunos retrocesos, pero es interesante indicar que durante el último siglo no ha dado señales de perder su valiosa posición en la vida económica de las naciones que van a la cabeza de la civilización.

El número total de abonados en los Estados Unidos

es de 25.000.000, con un aumento en los últimos diez años de un 25 %. En Inglaterra el número de abonados, a pesar de las consecuencias devastadoras de la última guerra y del gran número de inmuebles destruidos por los bombardeos, es de 11 millones, con aumento del mismo período de un 5 %.

El consumo total de gas en los Estados Unidos, incluyendo el gas natural, es actualmente siete veces mayor que en Inglaterra, refiriéndolo en metros cúbicos, y catorce veces mayor en calorías. Su aumento en los diez últimos años ha sido de más del 100 % en los Estados Unidos y de un 25 % en Inglaterra.

Igualmente, el consumo por abonado ha sufrido un aumento de un 61 % en Estados Unidos y 21 % en Inglaterra.

La cantidad de carbón tratado por las fábricas de gas en Inglaterra fué en el año 1947 de 21.000.0000 de Tn., mientras las coquerías no pasaban de los 20.000.000 de Tn. En otros países, como Alemania, Suiza, Bélgica, Dinamarca, etc., la industria del gas tiene parecida importancia relativa. Para dar idea de la misma y de las posibilidades de su futuro desarrollo en España damos a continuación una relación de las producciones anuales de gas en los principales países y el porcentaje correspondientes por habitante y año:

	Población	Producción anual de gas (millones de m ³)	Producción por habitante y año (m ³)
Inglaterra	45.500.000	14.016	295
Suiza	4.000.000	624,5	156
Holanda	8.800.000	1.188	135
Estados Unidos	135.000.000	16.908	125
Bélgica	8.400.000	897,6	107
Dinamarca	3.800.000	327,6	86
Canadá	11.500.000	698,4	60,7
Francia	42.000.000	2.448	58,3
Checoslovaquia	15.500.000	282	18,2
España	25.878.000	212,4	9,2
Japón	73.000.000	588	8,1
Polonia	35.000.000	225,6	6,5
Portugal	7.700.000	32,6	4,2

Como puede verse, en España, el consumo de gas por habitante-año es insignificante, comparado con el de los principales países europeos, aún de aquellos, como Dinamarca, Suiza e Italia, que no disponen en su territorio de minas de carbón, y es 36 veces inferior al de Inglaterra.

Su desarrollo durante los últimos diez años ha sido nulo debido a las restricciones impuestas en el consumo de carbón.

Las orientaciones modernas preconizan, en este tipo de industria, como en el caso de las coquerías, y por las mismas razones, la centralización de la producción de varias fábricas en una sola de mayor capacidad.

El principal obstáculo para un mayor desarrollo de la industria del gas radica en la diversidad de tamaño de sus fábricas y en la dispersión de sus unidades. Pero como esta industria ha nacido, crecido y continúa apoyándose en limitadas bases locales, es difícil realizar la centralización en la mayoría de los casos. Aunque se trate de varias fábricas instaladas en una misma localidad, la centralización en una sola no siempre es posible, ya que las fábricas están emplazadas estratégicamente (cerca de puestos marítimos, vías fluviales o férreas) y han quedado rodeadas de otras construcciones que impiden su expansión.

Los principales progresos realizados en la industria del gas durante los últimos años han sido debidos a:

a) Mejoramiento técnico y económico de los elementos de producción y de tratamiento de gas y sub-productos.

b) Utilización del gas como carburante en motores de automóviles.

c) Transporte de gas por tuberías a largas distancias.

Respecto al mejoramiento técnico y económico de los elementos de producción y tratamiento, se ha conseguido trabajar con una elevada eficiencia térmica, al emplear hornos verticales continuos o intermitentes, aprovechar todos los excedentes de calor para la producción de energía y al emplear vapor a alta presión, que es utilizado escalonadamente en los diferentes servicios.

Con respecto a la utilización del gas como carburante para tracción mecánica, ésta es una de las aplicaciones más interesantes, desde el punto de vista de la economía nacional, en los países como el nuestro, falto de yacimientos petrolíferos.

Inglaterra, Francia y, principalmente, Alemania, desde hace más de diecisiete años, tienen organizados servicios de autobuses y camiones en sus principales ciudades, que funcionan con gas de las fábricas de gas o de las coquerías, en sustitución de la gasolina. Se calcula que Alemania, en 1938, consumía de esta forma 300.000.000 de m³ de gas, equivalente a 150.000 toneladas de gasolina, es decir, en sólo este servicio se con-

sumía vez y media la producción total de gas de España.

La equivalencia entre el consumo de gas y de esencias es: 1,75 a 2,00 m³ de gas por un litro de esencia.

Para la carga de botellas, operación que se realiza en Alemania en menos de diez minutos, están dispuestas estratégicamente en la ciudad estaciones compresoras a propósito.

La adaptación de un motor de explosión para la alimentación con gas es sencilla. Basta instalar las botellas de gas comprimido un detentor de presión y cambiar el carburador.

Por lo que se refiere a la distribución de gas a distancia, los progresos realizados han permitido evolucionar las industrias de gas, al centralizar la producción en grandes unidades de fabricación (coquerías o fábricas de gas); para las fábricas pequeñas o antieconómicas; reunir a las empresas productoras en grupos más potentes y, por lo tanto, con mayores medios técnicos y financieros para mejorar sus explotaciones y, finalmente, al extender las redes de distribución, no sólo por las ciudades importantes, sino en ciertos casos a regiones e incluso a provincias enteras.

Es difícil establecer, «a priori», la distancia límite del transporte económico de gas a distancia. Inglaterra había establecido en el año 1940, como regla empírica, que esta distancia era, en su caso, de 32 Km. Francia la consideraba de 50 Km. y Alemania de 150 Km., pero Estados Unidos transportan el gas natural de sus yacimientos petrolíferos por tuberías hasta 1.900 Km. de distancia.

Estas diferencias prueban que el límite depende del coste de producción de la caloría-gas, que, a su vez, es función de diversos factores que pueden, además, cambiar con el tiempo.

Carbonización a baja temperatura.—La carbonización a baja temperatura de las hullas grasas de alta proporción de materias volátiles, tiene por objeto principal la producción de un combustible (semi-coque) de tamaño comprendido entre 20 y 60 mm., apropiado para los usos domésticos, fácil de encender y que arda sin producir humo. Tiene también importancia, por su rendimiento y excelentes cualidades, el alquitrán primario y las esencias obtenidas como sub-productos de esta operación.

Por carbonización a baja temperatura se tratan, aproximadamente, de 1,5 a 2 millones de Tn. de hulla anua-

les. En los países donde está más desarrollada esta industria, a pesar de su riqueza en antracitas y su elevada producción de coque, son Inglaterra y Alemania. Inglaterra en 1939 podía tratar en sus instalaciones 775.000 Tn. de carbón y obtener 542.500 Tn. de semi-coque y 70.000 Tn. de productos derivados de alquitrán primario: esencias. «Diesel-oil», etc.

Los tipos de hornos usados para esta operación son de varias clases: verticales u horizontales intermitentes; verticales semi-continuos y de solera giratoria. Los más recomendables son los verticales de marcha intermitente. En esta última clase hay dos tendencias: construcción de hornos metálicos y construcción de hornos de material refractario. Los ingleses son partidarios acérrimos de los hornos metálicos que construyen de una fundición especial (hornos Coalite). Los alemanes construyen sus hornos metálicos de acero dulce Martin (hornos Lurgi) o de material refractario aluminoso de 38-40 % de alúmina (hornos Otto).

La temperatura final que se alcanza en la semi-carbonización o carbonización a baja temperatura de la hulla es de 580 a 600°.

Aunque teóricamente la semi-carbonización termina a 420°, temperatura a la cual tiene lugar la formación del alquitrán primario, en la práctica es necesario superar los 550°, a fin de que el semi-coque formado tenga suficiente coherencia y no produzca, en su manipulación posterior, una proporción de carbonilla (tamaño 0-10 mm.) superior a un 10 %.

Es muy importante, para conseguir la máxima cohesión del semi-coque, que la hulla carbonizada sea pulverizada lo más finamente posible, como mínimo, al límite conveniente para la fabricación de coque metalúrgico.

La recuperación de los sub-productos en las instalaciones de carbonización a baja temperatura se realiza lo mismo que en las coquerías y fábricas de gas. Sus aparatos son, pues, parecidos.

El alquitrán primario es de características muy interesantes y permite obtener productos muy parecidos a los procedentes del petróleo. Contiene elevada proporción de fenoles (hasta 30 % en volumen) que se recuperan y tratan para obtener productos comerciales (fenol concentrado, ácido cresílico, meta-paracresol) y productos puros (ácido fénico 40°, orto-cresol 30-32° y meta-paracresol a 55-60°).

Inglaterra prepara, partiendo del alquitrán primario, dos calidades de aceites: Calidad C), fracción que destila entre 180° y 320° C., que utiliza para la calefacción de hornos metalúrgicos y de vidrio, y calidad E), preparada especialmente para la calefacción de calderas marítimas y exenta completamente de fenoles.

También puede prepararse un aceite de características apropiadas para la carburación del gas en las instalaciones de gas de agua carburado. Las instalaciones de carbonización a baja temperatura exigen considerable mano de obra, a causa de la limitada capacidad y tamaño de los hornos. Los gastos de primera instalación y gastos de explotación son elevados, por lo que parece no ser aconsejable instalaciones que traten menos de 500 Tn. al día. La unidad tipo futura alcanzará, como en las coquerías, la capacidad de tratamiento de 750 a 1.000 Tn. de hulla diarias.

LIGNITOS.—Los lignitos no se someten normalmente (salvo en circunstancias excepcionales) a carbonización a alta temperatura. Los dos procesos que permiten su mayor valorización y aplicaciones son: carbonización a baja temperatura y gasificación completa. No hablaremos de la hidrogenación, porque esta técnica se sale del marco de nuestro estudio.

Alemania es el único país que ha sabido desarrollar estas industrias y ha sacado gran provecho de las riquezas ligníferas que encierra su suelo. En el año 1939 trató cerca de 10 millones de Tn. y posteriormente a ese año la instalación de Espenkain, construida en el período 1939-1940, era capaz ella sola de extraer alrededor de 6 millones de Tn., que convertía en briquetas para carbonizarlas a baja temperatura en modernos hornos «Lurgi». Sus yacimientos y las características de sus lignitos se prestan adecuadamente a ello.

La temperatura de semi-carbonización de los lignitos es ligeramente inferior a la de la hulla, a fin de obtener una proporción y calidad óptima del alquitrán primario. Éste se destina casi integralmente a la hidrogenación para la obtención de carburantes y aceites. Los residuos de semi-coque pulverulento se utilizan localmente para la producción de vapor y fuerza motriz, para las necesidades mineras y de la región.

El semi-coque pulverulento de lignito encuentra en Alemania también gran aplicación para la producción de gases de síntesis en los gasógenos Winckler con

insuflación de oxígeno y vapor u oxígeno, aire y vapor.

En lugar de carbonizar el lignito y gasificar después el semi-coque, Alemania realizaba, también, en un solo aparato las dos operaciones, recuperando una parte del alquitrán primario y produciendo directamente gas para síntesis, que responde a la fórmula general $\text{CO} + 2\text{H}_2$, es decir, que contiene aproximadamente 32 % de CO y 64 % de hidrógeno. El resto de los gases está formado por metano y anhídrido carbónico. Hay varios tipos de estos hornos: Didier, Pintsch-Hildebrand, Schnalfeldt-Demag y Koppers, que utilizan lignito en trozos, briquetas, lignito pulvurento y que producen semi-coque o lo consumen totalmente. Todos ellos funcionan perfectamente, según la finalidad perseguida.

Finalmente, la gasificación completa del lignito menudo en gasógenos modelo Lurgi con inyección, de oxígeno a presión y vapor recalentado (a 550°) a 800 de temperatura puede producir indistintamente, según la presión de trabajo, gas de 4.200 calorías para distribución urbana o gas de síntesis de fórmula $\text{CO} + 2\text{H}_2$ para la preparación de carburantes y metanol.

SUBPRODUCTOS OBTENIDOS

En la carbonización a alta temperatura se obtienen los siguientes subproductos: gas (en las coquerías), coque (en las fábricas de gas), y, en ambas, alquitrán, aguas amoníacales, benzol y masas depuradoras usadas. En la carbonización a baja temperatura se obtienen esencias, alquitrán primario y gran cantidad de compuestos sulfurados, en caso de tratar lignitos.

Todos estos subproductos tienen actualmente importantes aplicaciones. Por ello su aprovechamiento debe estudiarse cuidadosamente.

Gas de coquerías.—Hace años, el gas producido en la carbonización de las hullas para obtención de coque metalúrgico, se utilizaba casi exclusivamente para la calefacción de los hornos, y se perdía así gran parte del excedente, por no encontrarle aplicación local. Actualmente este gas, de elevada potencia calorífica (4.250 a 5.100 cal.) se utiliza íntegramente en aplicaciones más utilitarias y económicas, calentándose los hornos con el gas pobre de los hornos altos (900 cal./m³).

El gas rico de la carbonización se recoge en gasómetros, desde los cuales se distribuye, solo o mezclado

con gas de hornos altos, a diferentes servicios, según la finalidad perseguida. Este gas encuentra sus principales aplicaciones en las necesidades térmicas de la siderúrgica, en la fabricación de productos de síntesis, o en el transporte a distancia para la distribución urbana. En el primer caso se utiliza, solo o mezclado con el gas de hornos altos, en la calefacción en los hornos de acero Martin; en los hornos de fundición y acero, en el tratamiento térmico y recocido, en los talleres de laminación y en los de aglomeración, en calderas de vapor para producir energía mecánica o eléctrica y, finalmente, en la calefacción de locales y en los laboratorios.

Para la fabricación de productos de síntesis se somete el gas de la coquería a condensación y destilación fraccionada, separando sus componentes: hidrógeno, óxido de carbono, nitrógeno, metano etileno y gases residuales, o bien se separa únicamente el hidrógeno, como en el procedimiento Casale, que efectúa una deshidrogenación del gas por refrigeración, y quedan unos gases residuales (formados principalmente por metano) de elevada potencia calorífica (7.000 a 8.000 calorías). El hidrógeno, o la mezcla de hidrógeno con nitrógeno, obtenido por estos procedimientos es el punto de partida para la preparación de amoníaco sintético y para operaciones de hidrogenación. Partiendo del gas amoníaco se prepara también por síntesis ácido nítrico, nitrato amónico y urea.

El óxido de carbono y el metano pueden ser fuente de producción de hidrógeno por conversión catódica mediante la acción del vapor de agua.

Del óxido de carbono e hidrógeno se pueden preparar carburantes de síntesis, metanos y sus derivados: aldehído fórmico, trioximetileno, exametilenotetramina y resinas sintéticas del grupo «zolonas» o formol-fenol, y del grupo «urazonas» o formol-urea.

Del etileno se prepara el alcohol etílico, éter, glicol, óxido de etilo y acetona.

Finalmente, el gas rico de hornos altos se utiliza, por transporte a distancia por tuberías, para la distribución urbana.

El aprovechamiento del gas rico, como fuente de energía térmica con aplicación total en la siderúrgica, lo practican principalmente los ingleses; en cambio, Alemania, Bélgica, Holanda, Francia e Italia lo utilizan preferentemente como punto de partida de las industrias químicas de síntesis y para la distribución de gas a poblaciones.

Coque de fábricas de gas.—El coque de estas fábricas se emplea en las mismas para la producción de gas de agua, azul o carburado (a fin de diluir hasta el límite conveniente el gas rico de carbonización) y para la calefacción de los hornos. El sobrante, después de clasificarlo cuidadosamente, encuentra su principal aplicación en usos industriales o domésticos, y es, para estos últimos, el combustible ideal, ya que no produce humos ni polvos.

Alquitrán.—El alquitrán se destina en elevada proporción, después de deshidratarlo y de separar los compuestos más ligeros, naftalina y fenoles, para el alquitrinado de carreteras. Del alquitrán se obtiene, por destilación fraccionada, lavado y rectificaciones sucesivas, variados productos: benzol, toluol, xilol, «solvent-nafta», fenolcresol, naftalina, antraceno, creosota, cumarona, indol, carbazol, bases pirídicas, fenantreno y brea.

Todos ellos de interesantes y variadas aplicaciones para la fabricación de disolventes explosivos, colorantes, productos químicos, desinfectantes, criptográficos y aglomerados.

Recientemente, se ha encontrado un nuevo campo de aplicación del alquitrán de carbonización a alta temperatura por hidrogenación del mismo y producción de aceite lubricante. Por hidrogenación se logra despolimerizar la brea y transformar en aceites los compuestos aromáticos cristalizados, comunicándoles estabilidad química, lo que se traduce en permanente estabilidad de su «índice de viscosidad», en ligera acidez orgánica y en débil índice de saponificación, que les comunican la untuosidad requerida.

El benzol o la naftalina entran también en la preparación de lubricantes de síntesis, partiendo de la condensación de hidrocarburos parafínicos, mono-bi, etc., exaclorados, en contacto con cloruro de aluminio y de un hidrocarburo que actúa de agente de dilución. Estos lubricantes de síntesis presentan características de viscosidad y resistencia a la oxidación superiores a las de los aceites minerales lubricantes obtenidos, hasta ahora, del petróleo natural.

Aguas amoniacales.—El amoniaco contenido en forma de sales fijas y volátiles en las aguas de condensación y de lavado del gas (cuando aquél no es eliminado por sulfatación directa o semi-directa) se recupera descomponiendo sus sales, en columnas de destilación de las que el amoniaco libre pasa a condensadores

para preparar aguas amoniacales concentradas o a saturadores que contienen ácido sulfúrico, para la preparación de sulfato amónico, de tanto interés en la agricultura.

Benzol.—El benzol se recupera del gas por cualquiera de los tres procedimientos: lavado con aceites, absorción por carbón activo y refrigeración. En los tres casos, el benzol bruto debe refinarse, tanto si se emplea para la preparación de productos químicos como para carburantes. Especialmente interesante es la eliminación de compuestos sulfurados, que se presentan, en su mayor parte, en forma de sulfuro de carbono y tiofeno. Actualmente se logra una separación eficaz, reduciendo la proporción CS_2 a menos de 0,01 %, separando una fracción de cabeza que representa, aproximadamente, un 4 % del benzol bruto. Por sucesivas rectificaciones y lavados con ácido y sosa pueden prepararse puros el benzol, toluol y xilol. Para el empleo del benzol como carburante es conveniente la adición de «inhibidores o estabilizadores» por una mezcla de 0,03 % de cresol y 0,005 % de naftol, que evitan o retardan la formación de gomas y permiten retener los compuestos no saturados en el producto final en mayor cantidad que sin su empleo.

Masas depuradoras usadas.—Cuando la depuración del gas se efectúa, como es corriente todavía, con masas depuradoras a base de óxido de hierro, los compuestos de azufre que se han eliminado del gas no se obtienen directamente en forma de productos comerciales, sino que quedan retenidos en las masas depuradoras en forma de sulfocianuros, compuestos sulfurados y, principalmente, de azufre libre, del que las masas usadas contienen un 40 a 50 %.

Estas masas cargadas de azufre se han empleado durante muchos años para producir ácido sulfúrico, quemándolas como las piritas, pero actualmente puede tener interés comercial la recuperación del azufre libre por disolución si se deja la masa depuradora después de la extracción, en condiciones de ser empleada nuevamente en la depuración del gas.

Por este procedimiento la Ruhr A. G. de Alemania recuperaba anualmente 18.000 Tn. de azufre.

Alquitrán primario.—Es el primer sub-producto de la carbonización de la hulla y del lignito a baja temperatura. Normalmente se obtiene de 80 a 140 Kg. por Tn. de carbón y en el tratamiento de algunos lignitos se recogen hasta 160 Kg. por Tn. de lignito. Sus caracte-

terísticas difieren mucho de las del alquitrán de alta temperatura. El alquitrán de baja temperatura contiene una proporción elevada de hidrocarburos saturados y no saturados y una menor proporción de hidrocarburos aromáticos, al contrario del alquitrán de alta temperatura. Contiene elevada proporción de fenoles (hasta un 30 %) y en su composición elemental da mayor proporción de hidrógeno y menor de carbono que aquél. Comparado con el petróleo y con los derivados de petróleo, con los que tienen ciertas propiedades comunes, el alquitrán de baja temperatura se diferencia, en su análisis centesimal, por su menor proporción de hidrógeno.

El alquitrán primario es primera materia excelente para la preparación de esencias, que se obtienen por sencilla destilación. También es fuente importante para la obtención de fenoles, tan necesarios en la preparación de resinas sintéticas, en la de productos antisépticos e insecticidas y en la de explosivos. Por destilación y rectificaciones sucesivas pueden separarse productos comerciales, como fenoles concentrados, ácido cresílico y meta-para cresol ordinario o productos puros como el ácido fénico de 40°, el orto-cresol 30-32° y el meta-para-cresol de 55-60°.

Finalmente, del alquitrán primario pueden prepararse aceites combustibles, como hacen los ingleses, y así satisface las condiciones más rigurosas. Estos aceites de características similares al «fuel-oil» de petróleo se emplean con excelente resultado para fines de calefacción de calderas marinas y hornos metalúrgicos, de vidrio y cerámica.

El alquitrán primario procedente de los lignitos necesita un tratamiento para eliminar el sulfuro de carbono y compuestos sulfurados, cuando procede de lignitos con elevada proporción de azufre.

El residuo de la destilación del alquitrán primario lo forma una brea blanda que contiene parafinas de interesantes propiedades similares a los asfaltos.

Compuestos sulfurados.—En la carbonización a baja temperatura de los lignitos que tienen mucho azufre, como es el caso de la mayoría de los lignitos españoles, es económicamente interesante recuperar éste durante la depuración del gas, pero obteniendo directamente productos comerciales, como, azufre libre, sulfato sódico cristalizado 30-32 % sulfuro sódico colado 60-62 %, ácido sulfénico, sulfato amónico etc. Esta recu-

peración es tan importante en los lignitos, que puede ser fuente de pingües ingresos.

APLICACIÓN PRÁCTICA A NUESTROS CARBONES

En España tenemos gran variedad de carbones. Abundan particularmente las hullas grasas de alta proporción de volátiles (hullas de gas) y los lignitos. Escasean, en cambio, los tipos de hulla característicos de coque y vapor. Tenemos buenos yacimientos de antracitas, pero no abundantes. Existen carbones antracitosos, hullas magras, secas y semi-hullas. Desgraciadamente, nuestros carbones dan en su explotación gran proporción de menudos (65 %) respecto a los tamaños superiores (35 %).

La carbonización permite la revalorización de nuestros menudos y presenta la solución de gran parte de nuestras dificultades. Toda la moderna tecnología, cuya breve reseña acabamos de exponer, tiene en España aplicación, pero consideramos es de inmediato interés, desde el punto de vista de la economía nacional, en la preparación de los siguientes productos:

A) *Coque metalúrgico.*—Es absolutamente necesario para nuestra industria metalúrgica aumentar la producción de coque metalúrgico y es *todavía más preciso*: mejorar su calidad; extender, por mezclas apropiadas, la gama de hullas coquizables; corregir los defectos de las actualmente empleadas y modernizar las instalaciones, a fin de reducir al mínimo el consumo específico de carbón por tonelada de acero producido.

B) *Gas y coque para usos industriales y domésticos.* Urge ampliar las cantidades de carbón destinadas a las fábricas de gas para que trabajen estas a su plena capacidad de producción, proporcionando a la industria y a los particulares los combustibles de calidad apropiados para el caldeo, dóciles, asequibles, fáciles de encendido, que arden sin humo y evitan la formación de neblinas de polvo y humo sobre las ciudades.

C) *Antracitas artificiales.*—Es conveniente la revalorización de los menudos de antracita y carbones antracitosos por aglomeración y carbonización, a fin de proporcionar al mercado un substitutivo de las antracitas que se importaban anteriormente del extranjero y cuya producción nacional en tamaños superiores no alcanza a cubrir nuestras necesidades.

D) *Semi-coque de lignito y alquitrán primario.*—

La gran riqueza de lignitos que sólo encuentran aplicación circunstancial en períodos de escasez y que pierden su mercado en tiempos normales, debería carbonizarse a baja temperatura, con la finalidad de producir un combustible sólido de tamaño regular, fácil de encender, que arda con facilidad, para gasógenos y usos domésticos y alquitrán primario del que pueda obtenerse carburantes y, sobre todo, combustibles líquidos. El semi-coque pulverulento podría tener aplicación como desengrasante en la mezcla de carbones de las coquerías y para producir energía térmica.

Además de la producción de los combustibles sólidos citados, la carbonización proporcionaría la conocida gama de compuestos orgánicos de sumo interés para las industrias españolas.

Consideramos que la carbonización a baja temperatura de las hullas grasas, para la producción de semi-coque y alquitrán primario, no interesa en España, ya que, en los actuales momentos, conviene *destinar todas las hullas posibles a la carbonización a alta temperatura*. El semi-coque y el alquitrán primario pueden substituirse por el coque de gas, semi-coque de lignito y alquitrán primario de lignito.

INFLUENCIA DE LA CARBONIZACIÓN EN LA ECONOMÍA DEL PAÍS

La economía de un país se basa principalmente en el *aprovechamiento lo más racional posible de sus recursos naturales*.

Desde hace años, todas las naciones, incluso las más poderosas, siguen severa política encaminada a obtener con este fin los productos que les son necesarios y, principalmente, la energía y el carbón, de sus propias fuentes naturales, procurando utilizarlos con la máxima eficiencia, a fin de cubrir sus necesidades sin malgastar las reservas.

El carbón, afortunado recurso natural de España, debería utilizarse con arreglo a estos principios.

La carbonización logra aquella finalidad magistralmente, ya que, no sólo permite la revalorización de los menudos que porporcionan la extensa serie de productos que hemos citado, sino que *transforma el carbón crudo en nueva fuente de energía térmica* (nuevos productos combustibles) *con rendimiento muy superior a su transformación en cualquier otra forma de energía* (mecánica o eléctrica), *con la particularidad de*

que, al utilizar los nuevos productos combustibles, producen al consumidor mayor efecto útil que el combustible primitivo de que proceden.

En efecto: según F. W. Goodenough y CH Berthelot, un metro cúbico de gas, además de las ventajas prácticas que proporciona su empleo, permite reemplazar a dos kilos o un kilo y medio de carbón, según que el caldeo corresponda a una cocina doméstica o a un hogar para la producción de agua caliente o para determinadas operaciones industriales.

En la carbonización de las hullas se producen además del gas el coque y el alquitrán, que contienen potencialmente una gran parte de la energía térmica del carbón.

Ninguna utilización del carbón permite obtener un aprovechamiento racional más eficaz, y se comprende la importancia que en la economía de todos los países tiene la carbonización y la protección otorgada por los gobiernos respectivos a las industrias que utilizan estos procedimientos, máxime en los momentos en que el mundo, por las trágicas circunstancias de post-guerra que atraviesa, sufre un «déficit» en su producción carbonera.

Conviene destacar que la industria de carbonización *no es una industria consumidora de carbón, sino que lo transforma, proporcionando no sólo combustibles de calidad para las industrias siderúrgicas y para usos térmicos, industriales y domésticos, sino que es punto de partida de importantísimas industrias químicas y de síntesis.*

Las industrias de carbonización son eminentemente nacionales. Tratan productos extraídos de nuestro suelo, en aparatos, instalación y con material en su mayor parte de construcción nacional. Dan ocupación a varios millares de obreros, empleados y técnicos, suministran gas para uso doméstico e industrial a 380.000 abonados, producen coque y otros apreciados productos para nuestras importantes industrias siderúrgicas, metalúrgica, química, industrias varias y usos domésticos, producen alquitrán para nuestras carreteras, brea para las briquetas de ferrocarriles, abonos para nuestra agricultura y es de desear produzcan próximamente carburantes, lubricantes, productos de síntesis, etcétera. El capital social de estas industrias (asociado muchas veces a industrias eléctricas o metalúrgicas) asciende a algunos miles de millones de pesetas.

Confiamos en que, como está ocurriendo en el extranjero, se destinará con preferencia la hulla coquizada

ble, a estas industrias. Sería de desear que el aumento de disponibilidades se obtenga por el aumento de producción de nuestras minas, pero en tanto esto no se consiga, debe restringirse, si es preciso, el consumo de otros sectores que la malgastan en sus hogares o el de las coquerías no siderúrgicas, que no la aprovechen integralmente en su carbonización, en beneficio de las fábricas de gas y coquerías que trabajan con mejores rendimientos.

Debe ayudarse a estas industrias a fin de que modernicen sus instalaciones antiguas. Tenemos que pensar que, debido a la crisis de carbón que se ha padecido (especialmente en las fábricas de gas), y a las dificultades en el suministro de materiales, han pasado más de trece años que no han podido renovar o mejorar su material, herramental, hornos, gasómetros, etc., y en 1936 muchas de sus instalaciones estaban en lamentable estado.

Como muestra de la importancia que a ello se concede en el extranjero citaremos el caso de Inglaterra que, a pesar de tratar anualmente unos 20 millones de Tn. de hulla en las coquerías y unos 21 millones de Tn. en las fábricas de gas, propugna aumentar la carbonización de 30 millones de Tn. más para producir combustible «sin humo», y se estima que ello proporcionará un incremento de riqueza de 180 millones anuales de libras. En el pasado año 1949 se aprobó en el Parlamento inglés la concesión de 250

millones de libras esterlinas para la modernización de las fábricas de gas.

Actualmente en España, a pesar de mantenerse los precios de tasa del carbón, los gastos de adquisición y transporte del mismo resultan elevados y es posible aumenten todavía más. Los salarios y gastos generales han crecido considerablemente, y los desembolsos de capital para renovación de las instalaciones anticuadas serán muy importantes. Las amortizaciones pesarán mucho en el balance de explotación.

Solamente con una acertada política de revalorización y eficiencia en el uso de nuestros combustibles y un decidido apoyo oficial, podían encontrar estas importantes industrias, tan necesarias para la economía del país, los medios de desarrollarse como conviene para el porvenir industrial de España.

CONCLUSIÓN

Recabar del Ministerio de Industria y Comercio el apoyo y trato de preferencia a las industrias que practican *eficientemente la carbonización*, tanto en lo que se refiere a la distribución y cupos de carbón, como al suministro de materiales y concesión de créditos, en condiciones favorables, para la renovación y modernización de sus instalaciones.

Barcelona, diciembre 1949.

Al terminar la lectura no se presenta ninguna objeción a este trabajo, y por ello el Sr. Presidente concede la palabra a D. Luis Casadevall, que lee el siguiente estudio:

N.º 41. - Reducción del actual consumo de carbón en España

Autor: D. LUIS CASADEVALL DURÁN

Ingeniero Industrial

En este modesto trabajo no se intenta tratar nada nuevo, sino sólo se desea insistir en la antigua labor de citar medios para el mejor aprovechamiento de nuestros combustibles.

Antes de entrar en materia, nos permitiremos citar el caso que nos ha ocurrido hace algún tiempo y que parece oportuno referir para apoyar el criterio de que no sería eficiente nuestra labor si nos contentáramos con hablar y escribir sobre este tema y no lo aplicamos rápidamente, en toda su extensión, su contenido, de un modo eficiente.

Como decía, hace algún tiempo nos visitó un colega interesado en una industria consumidora de carbón, quien lamentaba que con los carbones de que disponía no podía continuar el trabajo en el que tenía diariamente una pérdida de unas 7.000 pesetas.

Examinado detenidamente el caso, pudimos sin dificultad proponer la solución. El interesado, al informarse del contenido de nuestro trabajo, nos dijo textualmente: «Usted no me dice nada nuevo; lo que usted me propone lo dicen claramente las primeras lecciones de *Calor* que hemos estudiado», lo que nos obligó a contestarle: «Si usted conocía lo que le propongo, ¿cómo permite usted la pérdida de 7.000 pesetas diarias a su empresa?».

Desde luego nuestro colega conocía el contenido de mi proposición, pero lo que no conocía era que al aplicar lo que le aconsejaba, resolvería su angustioso problema.

Los que hemos estudiado la carrera de ingeniero conocemos cómo conseguir un buen CO₂ y cómo debemos proceder para que las calorías producidas no se nos escapen sin rendir trabajo... ¿Cómo es que permitimos existan esas miles de instalaciones en que se tira más carbón del que se aprovecha?

Son muchos los compañeros que se han ocupado en tratar este asunto, y por nuestra parte, con mis modestos conocimientos, hemos puesto nuestro granito de arena. En el año 1941, y bajo el lema «COMBUSTIÓN», preparamos un bosquejo monográfico a petición de nuestro Delegado del Combustible en Barcelona, sobre la posibilidad y conveniencia de implantar en España industrias para el mejor aprovechamiento de los combustibles.

En 1944, en ocasión del Primer Congreso Nacional de Estudios Metalúrgicos, y bajo el título de «COMBUSTIBLES Y COMBUSTIÓN EN LA INDUSTRIA METALÚRGICA», presentamos otro trabajo que luego se publicó en la revista *Técnica Metalúrgica*.

En el año 1947, en la Asamblea General Ordinaria

de la Asociación Técnica Española de Estudios Metalúrgicos, contribuimos con otro, titulado «CARBÓN PULVERIZADO Y SU EMPLEO COMO COMPLEMENTO EN LAS MODERNAS INSTALACIONES (BOOSTING)», también publicado en la ya citada revista.

En el año 1948, y a petición del Presidente de la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona, nos fué grato presentar otro trabajo con el título «REDUCCIÓN EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE», con su correspondiente ampliación.

Y, por último, al propio tiempo que este trabajo, con sumo gusto hemos colaborado en el presentado por la Sección de Química de nuestra Asociación con el título de «APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS COMBUSTIBLES SÓLIDOS ESPAÑOLES».

En todos los citados escritos falta desde luego la literatura, pero lo que en ellos se expresa es resultado de la experiencia, con casos vividos y la casi totalidad podemos fácilmente comprobarlos. El término medio de las economías conseguidas oscila en un 35 %; en muchos casos se ha traspasado el 50 %, y en algunos se ha llegado al 70 %, cifras éstas que pueden comprobarse y que son suficientes para interesar a los industriales y, sobre todo, a los Organismos competentes en llegar a una reducción en el consumo actual de combustibles.

La forma de conseguir tales reducciones, con un poco de buena voluntad y un apoyo decidido de los Organismos actuales del Estado y otros que pueden crearse sin gravitar demasiado sobre el Presupuesto, podría llegarse, más rápidamente de lo que en principio pueda parecer, a emplear más racionalmente el carbón y, en su consecuencia, las importaciones se reducirían grandemente sin perturbar el consumo.

Por otro lado, el mejorar las calidades de carbón, las clasificaciones, una correcta distribución y atinadas mezclas contribuiría a dar una buena solución, y reducir al propio tiempo el precio del combustible.

Vamos a citar, pues, algunos de los puntos más esenciales que convendría tener presentes para iniciar una labor eficiente en el sentido de emplear nuestros combustibles en una forma más racional.

En primer lugar, cuando salimos de nuestras Escuelas de Ingenieros, deberíamos poseer conocimientos más consolidados sobre COMBUSTIÓN Y COMBUSTIBLES, y tener profundamente inculcado el sentimiento de no dejar que se malgaste el combustible, ya que la casi totali-

dad de las industrias poseen instalaciones térmicas de mayor o menor categoría.

Abunda mucho el personal que conduce las instalaciones térmicas, con carencia de preparación precisa para cumplir debidamente su cometido.

Si existieran escuelas para preparar debidamente este personal, dando facilidades para que, incluso trabajando, pudiera este personal asistir a ellas, y por otro lado, si se lograra que estos estudios fueran gratuitos para el referido personal, llegaríamos a disponer de un buen elemento encaminado a conseguir nuestro propósito. Podría, entonces, exigirse el correspondiente título de fogonero, indispensable para el ejercicio de ésta tan importante función.

Si se establecieran primas que estimularan al personal a economizar combustible, de manera que el fogonero pudiera reunir un magnífico jornal si cumplía su obligación, habríamos conseguido un nivel de vida superior para este personal y el industrial haría un buen negocio, ya que por cada peseta dada al fogonero, a él le representaría muchísimo más y nuestra economía quedaría grandemente beneficiada.

Convienen todos los técnicos dedicados al aprovechamiento racional de los combustibles en que la fabricación de gas, coque y sub-productos, así como la fabricación de aglomerados de carbón, es uno de los caminos más rectos para alcanzar el máximo aprovechamiento de los carbones; pues bien, creemos no debería perderse un minuto en facilitar una amplia protección a estas industrias para que dispusieran del máximo de primera materia, lo más adecuada posible, y apoyar a estas empresas para que pudieran modernizar y ampliar sus instalaciones sin perjuicio de que se instalaran otras nuevas, si las existentes no pudieran dar abasto a las necesidades del consumo. En Gran Bretaña, este criterio se ha seguido hasta el punto de que, sacrificando la tan arraigada costumbre del empleo del célebre hogar para carbón, van transformándose estos clásicos hogares en estufas que queman gas, con los que, además de la economía conseguida, la atmósfera irrespirable de las grandes ciudades ha mejorado muchísimo. En cambio, y por desgracia, en Barcelona no se puede salir al exterior sin percibir el olor a humo, que en algunos casos es insoportable.

Sobre la auto-aglomeración, nos permitiremos emplear unas líneas tratando este tema, pues es asunto que debería desarrollarse sin pérdida de tiempo.

Como ya es sabido, este método consiste en la fabricación de aglomerados prescindiendo de la brea (la cual se ha de importar en su mayor parte) y de otros aglutinantes, los cuales perjudican la calidad del aglomerado, y simplemente nos valemos para conseguir estos aglomerados de someterlos a una presión casi igual a la necesaria para aglomerar con brea, aprovechando el poder aglutinante del mismo a una temperatura precisa, y resultan aglomerados de calidad muy superior, a pesar de que el proceso de fabricación no es complicado y, como hemos dicho, se prescinde de materias extrañas al carbón.

Con este procedimiento, y sirviéndonos de carbones relativamente grasos, podríamos aglomerar carbones secos, inclusive antracitas, polvo de coque, e incluso se ha llegado a aglomerar con un carbón bastante graso un 60 % de polvo de mineral.

Podemos, pues, fabricar aglomerados bajos en materias volátiles que resultan de textura pétrea, lo cual permite ser manipulados y transportados sin pérdidas apreciables. Si el menudo con que se fabrican estos aglomerados no está demasiado cargado de cenizas, constituye un excelente carbón para locomotoras, y también para el consumo doméstico. La dureza de estos aglomerados permite el que puedan estar dotados de uno o más agujeros, con lo cual se logra una mejor y más rápida combustión. Incluso estos aglomerados se los destila y las briquetas resultantes de coque se emplean para gasógenos corrientes y para automóviles.

Lo que acabamos de exponer no es asunto teórico o de laboratorio; antes de la guerra visitamos una de estas industrias experimentales que funcionaban a la perfección e intervenimos en la construcción de una de sus partes. Desgraciadamente, durante el curso de la citada guerra, quedó destruída, pero los resultados fueron comprobados.

El procedimiento se basaba, como se ha dicho, en el principio, de que sometidos los carbones, y especialmente las hullas, a tratamiento térmico adecuado, aquéllos sufren una transformación físico-química, que los lleva a un estado característico que se denomina globular. Si en este momento preciso se los somete a una presión estudiada de antemano, no tan sólo son susceptibles de ser aglomerados, sino que, incluso pueden servir de materia aglomerante. Puede, pues, aprovecharse este estado globular para añadir polvo de carbón seco, polvo de coque e incluso polvo de mineral.

Este procedimiento, que se basa en principio tan simple, ha presentado, sin embargo, serias dificultades para industrializarlo, exigiendo mucho estudio, tiempo y dinero. Pero como se ha manifestado, el conjunto se halla completamente resuelto. No obstante, debe tenerse en cuenta que, cada tipo de carbón, debe ser estudiado antes de industrializar su fabricación. El asunto no es difícil, pero precisa cierto cuidado, ya que cada carbón tiene su punto de temperatura y presión.

Las partículas de carbón, dentro de ciertos límites de tamaño y humedad, si se calientan a una temperatura apropiada en cada caso, ligeramente superior a la de su reblandecimiento, estas partículas toman entonces forma más redondeada y su poder aglutinante llega a su máximo. Sin embargo, en este estado no llega a pegarse a las paredes del horno y, por lo tanto, su manipulación no presenta dificultades. Pero debe tenerse mucho cuidado durante esta fase para que el carbón no se haga demasiado viscoso, pues perderíamos esta propiedad de ser fácilmente manipulado y estropearíamos la fabricación.

No quisiéramos extendernos en demasiados detalles sobre el particular, pero con el fin de poder apreciar mejor la importancia de este proceso, lo examinaremos más de cerca.

Cuando calentamos una hulla, el agua higroscópica y los gases absorbidos, anhídrido carbónico y metano, así como el oxígeno y nitrógeno se eliminan antes de alcanzar la temperatura de 200° y, en general, a razón de 1/2 m³ por tonelada. Este fenómeno físico es seguido, a partir de los citados 200°, de una transformación química marcada por la salida del agua de constitución y otros productos, cuando la temperatura alcanza los 300°. En este momento viene un reblandecimiento debido a la fusión pastosa de ciertos productos constitutivos. Debemos tener presente que esta fusión es pasajera. Si en este instante dejáramos enfriar la masa, ya no conseguiríamos la misma fusión si la volviéramos a calentar, ya que la reacción química operada ha transformado este cuerpo en otro más refractario.

Otro factor debemos tener presente durante el curso de este proceso, y es la velocidad con que se llega a la temperatura exigida, variando los resultados según la misma.

Un análisis del carbón no es suficiente para fijar el

procedimiento. En la práctica se ha comprobado que carbones con el mismo análisis han debido ser tratados de muy distinta manera.

Cuando el carbón adquiere el estado globular, se rodea de una atmósfera gaseosa y adquiere tacto más graso. Este estado debe aprovecharse inmediatamente para someter el carbón a la presión conveniente. En este momento no debe agitarse la masa demasiado, ya que entonces este carbón pudiera perder esta propiedad y, en consecuencia, su propiedad aglutinante.

Estos aglomerados tienen una densidad de 1,3. Su fractura, como se ha dicho al principio, es pétrea, arden sin humo y conservan su forma inicial hasta que son reducidos a ceniza pulverulenta.

Estos aglomerados contienen un 3 % menos de materias volátiles que la media de los carbones que han servido para su elaboración, que conviene no sea superior al 12 %; cosa que, en España, podría lograrse fácilmente.

Una de las aplicaciones interesantes de este proceso es la ya citada, de mezclar el polvo de carbón con el de mineral, para ser tratado en hornos rotativos y fundir directamente las piezas metálicas.

Otra aplicación importante de los aglomerados fabricados, según este proceso, es la de ovoides para gasógenos de automóvil, muy superior mercancía que los demás carburantes sólidos empleados.

La instalación precisa para esta industria no es muy complicada y puede describirse en la forma siguiente: Una instalación de carbón pulverizado para las necesidades de la misma, silos en cantidad suficiente para almacenaje y clasificación de los carbones, y un mezclador para complemento; una instalación de preparación, compuesta de un horno estudiado para realizar la transformación del carbón, cuyo manejo no es difícil, y que con un solo operario se asegura su funcionamiento. Este horno se calienta con carbón pulverizado o gas, si éste se consigue a buen precio, sobre todo si esta industria es anexa a una fábrica de gas u horno alto. Este horno está provisto de un alimentador y es rotativo, pero ligeramente inclinado —unos 5°— y de construcción metálica. Va montado en el interior de un túnel de sección circular y los gases calientes pasan por el anillo que queda entre el expresado horno y el citado túnel construido con ladrillo refractario.

El carbón que se ha de tratar entra por la parte

opuesta a la que entran los gases calientes. La velocidad del carbón depende, naturalmente, de la velocidad del horno y de la inclinación del mismo con respecto al eje horizontal, pero no de los nervios que existen en el interior del horno, y que sólo sirven para remover el carbón con el fin de que la temperatura del conjunto sea uniforme en las diferentes zonas. El horno a que me refiero en el presente escrito estaba dotado de tres marchas. La velocidad de la masa variaba entre 15 a 30' para recorrer todo el horno, cuya longitud era de 22 m., con un diámetro de 1,80 m., lo cual permitía tratar unas 4 Tn. hora y, en este caso, el combustible globulaba a 460° C.

A la salida de este horno de tratamiento se hallaba una prensa con una presión de 600 kg. por cm². Aunque esta presión es algo superior a la empleada para el caso de utilizar la brea, no por ello consumía más fuerza.

Esta instalación, a pesar de ser mucho más perfecta que las otras instalaciones, el proceso resulta mucho más económico. El consumo de las citadas instalaciones es aproximadamente de un 4 % del carbón aglomerado.

Lo más importante de tales instalaciones es que, con ellas, pueden suprimirse las importaciones de brea, economizando una cantidad respetable de divisas.

En las primeras JORNADAS DE INGENIERÍA INDUSTRIAL tratamos con algún detalle sobre las pérdidas existentes en la mayoría de instalaciones térmicas por causas de mala combustión debidas a desproporción de combustible comburente, su mezcla defectuosa, la inadecuada temperatura, cámara de combustión de dimensiones erróneas, así como el erróneo trazado de los conductos de gases, defectuoso aislamiento y en algunos casos —en su mayoría— carecen los generadores en absoluto de este aislamiento y falta de economizadores y recalentadores, todo ello sin entrar en detalle del tipo de generador muchas veces anticuado, desprovistos en su casi totalidad de aparatos de inspección y de medios para observar lo que sucede en la cámara de combustión y conductos de gases.

Nuestra modesta opinión es que debería llevarse a cabo una revisión y obligar a los usuarios a quemar el combustible racionalmente, modificando sus actuales instalaciones, si ello es posible, o en caso contrario, separarlas del servicio, como actualmente ya se hace en vecinos países.

Claro que nos encontramos con algunos industriales que no disponen de medios para efectuar estas modificaciones o substituciones; en esos casos, el Estado podría adelantarles el capital para tales transformaciones, siempre que este capital pudiera ser devuelto en plazo relativamente corto.

Además, se descuida mucho la depuración de las aguas, lo cual también contribuye a un mayor gasto de combustible y termina siempre con algún accidente más o menos grave.

También se ha tratado con mayor o menor extensión la necesidad de mejorar las calidades de carbón, ya que, como se dijo, un carbón malo representa una pérdida efectiva en el transporte, obliga al fogonero a trabajar los fuegos con la correspondiente entrada de aire frío por la puerta del hogar y, además, al formarse las escorias y fundirse éstas, absorben una cantidad insospechada de calor y, como se extraen estas escorias en estado incandescente y la mayoría de las veces pastoso, estas pérdidas de calor ya no se recuperan. Asimismo con esta clase de carbones la combustión es mucho más defectuosa.

La calidad de los carbones debiera ser fijada por los organismos competentes, no permitiéndose la venta de calidades no admitidas por dichos organismos. Ello permitiría que los obreros mineros trabajaran en minas más eficientes, aumentando así el rendimiento laboral.

En nuestro modesto trabajo, ya citado, me ocupé del empleo de una mayor proporción de oxígeno en el comburente, llegando hasta una proporción del 95 %, lo cual permite realizar algunas operaciones metalúrgicas y siderúrgicas con mucha mayor celeridad, en hornos mucho más pequeños con una menor cantidad de combustible y con mayor duración del material refractario. Creemos que debería prestarse todo el apoyo necesario para que el oxígeno se fabricase a precio que permitiera aprovechar este sistema que ya se extiende bastante en otros países, así como proteger a los colegas que se dedicaran a los estudios de aplicación de procedimientos de combustión por catálisis y la combustión del oxígeno e hidrógeno debajo del agua.

Existen en el extranjero muchos métodos prácticos y relativamente sencillos para quemar los carbones de un modo racional, y sería conveniente que la totalidad o parte de estas instalaciones se fabricaran en España, procurando convenios que nos permitieran es-

tas explotaciones y divisas para los viajes necesarios e importación de modelos y partes que de momento no pudieran ser construídas en nuestra nación.

Entre este género de instalaciones existen las de carbón pulverizado, con las cuales se ha llegado a distribuir este producto por tubos de menos de una pulgada, sin que existan obstrucciones, y se ha llegado a la perfección de poderlas presentar en una feria, pintadas de blanco. Sobre este género de instalaciones nos ocupamos en la Asamblea general ordinaria de la ASOCIACIÓN TÉCNICA ESPAÑOLA DE ESTUDIOS METALÚRGICOS en el año 1947.

Hemos tratado, aunque someramente, el tema de producir las calorías lo más racionalmente posible, mas no debemos dejar de llamar la atención sobre otro punto que todos conocemos, y que, de puro sabido, casi se olvida, y es el que, una vez producidas las calorías, hemos de procurar por todos los medios no dejar que se nos escapen sin producir su máximo trabajo, aislando de un modo perfecto las conducciones de calor, prodigando las instalaciones de economizadores, recuperadores, recalentadores, etc.

En el extranjero existen desde hace mucho tiempo los calentadores de aire con aletas interiores y exteriores, y construídos con material resistente en alto grado contra la acción corrosiva de los gases producto de la combustión; instalaciones para las que debieran darse facilidades para su importación y sobre todo para su total o parcial construcción en España.

Hemos llevado a cabo algunos estudios sobre recuperación de calorías perdidas, y obtuvimos economías de cerca de medio millón de pesetas anuales, cuando la instalación de referencia costaba mucho menos.

Naturalmente, la labor de economizar carbón no puede llevarse a cabo de modo perfecto sin contar con aparatos de inspección, los cuales brillan por su ausencia en el 90 % de los casos. La importación de estos aparatos y la protección para los técnicos que procuren construirlos en España es de todo punto imprescindible. Su costo es insignificante comparado con las economías de combustible que con ellos se pueden conseguir.

Otro punto que debemos tener en cuenta es que las industrias dedicadas a la construcción de generadores de vapor y complementarias de las mismas son pocas, por lo que debieran ampliarse las existentes o instalarse nuevas industrias de este género, con el fin de

que en breve plazo pudiéramos modernizar, en gran número, las actuales.

Sobre este tema se podría escribir mucho más. Creo que, si se llevara a cabo cuanto dejo expuesto, habríamos dado un gran paso para mejorar nuestra Economía.

A continuación nos permitimos formular, como resumen de lo expuesto, las siguientes

CONCLUSIONES

Conviene llevar a la práctica de un modo rápido y eficiente una campaña para el logro de un mejor aprovechamiento de los combustibles, acabando de una vez con su actual derroche.

Ampliar en las Escuelas de Ingenieros los actuales estudios sobre combustibles y combustión, así como el aprovechamiento de las calorías producidas.

Crear cursillos gratuitos para la formación de personal que ha de conducir las instalaciones térmicas, exigiendo, para que este personal sea admitido en las industrias, el correspondiente título.

Otorgar primas de ahorro de combustible para estimular a este personal y para conseguir en consecuencia la máxima perfección en el trabajo que se le confía.

Favorecer, por todos los medios, una eficiente producción en las fábricas de gas y coquería, así como a toda industria que aproveche los combustibles en su grado máximo, procurar que no les falten primeras materias adecuadas para su producción.

Apoyar la ampliación, modernización e implantación de nuevas industrias similares, si las existentes no pudieran abastecer las necesidades del público.

El mismo apoyo a las fábricas de briquetas, con un máximo de facilidades para que se instalen fábricas por el procedimiento de auto-aglomeración.

Ayuda a las industrias que la necesitan, para la modernización de sus instalaciones térmicas, no autorizando el funcionamiento de las que no reúnan un mínimo de condiciones de eficiencia fijadas por la Superioridad.

Mejorar la calidad de los carbones suministrados a las industrias, no permitiendo, asimismo, sean vendidos carbones que no reúnan las condiciones de calidad fijadas por los Organismos pertinentes.

Fomentar la fabricación del oxígeno a precio que permita su empleo en las industrias como comburente.

Facilitar divisas para la importación de la totalidad, o parte de las instalaciones con las cuales se consiga un notable ahorro de combustible, así como para el pago de patentes para la fabricación de estas instalaciones en España, para libros de consulta, y para viajes a ingenieros que se dediquen al estudio y montaje de instalaciones para reducir el consumo de carbón.

Apoyo a las empresas que se dedican a la construcción de generadores de vapor, hornos e instalaciones modernas, con el fin de conseguir una rápida transformación de nuestra industria encaminada a obtener del combustible el máximo rendimiento.

Barcelona, 21 de marzo de 1950.

Puestas a discusión las conclusiones, el Sr. Pintado Fe interviene para decir que el trabajo del Sr. Casadevall se refiere, principalmente, a la reducción del actual consumo de carbón mediante una mejora de la práctica de la combustión, que repercutiría beneficiosamente en el conjunto de la economía carbonera, pero que aparte de los motivos del despilfarro de carbón que obedecen a defectuosa quema en los hogares, y que se expresa en el trabajo, también en buena parte se debe aquel despilfarro al empleo de calidades poco apropiadas, y por ello estima que una notable mejoría se había de alcanzar por mezclas de los suministros a los grandes con-

sumidores, y que quizás sería la primera medida a implantar en la práctica de un modo inmediato para alcanzar importante ahorro de carbón.

Asimismo, dice el Sr. Pintado, parece observarse una aparente contradicción entre el déficit de nuestra producción de carbones y la recomendación que hace en su trabajo el Sr. Casadevall de que no se permita que trabajen las minas que no reúnan condiciones de producción determinada.

Para evitar tal contradicción aparente e interpretaciones erróneas que de ello se derivasen, debe hacerse presente que, aparte de la quema racional de combustibles ha de procurarse una mejora de calidades y la adaptación de los hogares a las especiales características de los carbones españoles.

Por otra parte, ha de tomarse en cuenta, además, que las grandes minas españolas explotan en sus concesiones capas de diversas calidades y condiciones naturales y que desde el punto de vista minero no es racional prescindir más que de la explotación de las capas que por sus condiciones de arranque o lavabilidad den un rendimiento individual en carbón lavado inferior a un límite que sólo podrá fijar el explotador atendiendo a los precios de venta que pueda lograr para el conjunto de su producción.

Con estas aclaraciones, se aprueban las conclusiones presentadas, y se otorga seguidamente la palabra a D. Saturnino Alvarez Sánchez, que da lectura al trabajo siguiente:

N.º 56. - La incineración de basuras en las grandes ciudades, fuente de producción de energía térmica

Autor: D. SATURNINO ÁLVAREZ SÁNCHEZ

Ingeniero Industrial, miembro de la «American Society of Mechanical Engineers»

1.—EL PROBLEMA Y SUS IMPEDIMENTOS.

El espectáculo desagradable y antihigiénico de la recogida y utilización de las basuras en la capital de España, a cargo de los «traperos»; el caso, cada día más acuciante, de las restricciones eléctricas en nuestro país, y las noticias, un tanto vagas, que sobre el aprovechamiento de tales desperdicios había obtenido en algunos de mis viajes por el extranjero, me indujeron a estudiar este problema, todavía sin resolver en nuestra patria, cuando recibí la convocatoria, ya oficial, del II CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA. Desgraciadamente, el tiempo disponible para este estudio preliminar ha sido realmente muy escaso, por lo que empiezo por pedir perdón por sus deficiencias, y deseo tan sólo que venga a ser a modo de semilla que fructifique en breve plazo merced a los cuidados que reciba por parte de los Organismos oficiales y empresas privadas interesadas en el mismo, bajo la augusta protección del Caudillo de España.

Después de esta obligada justificación inicial, quiero abordar de pasada los puntos fundamentales y de carácter general que se suscitan siempre en este com-

plicado asunto, para que, convencidos previamente de la necesidad de buscarle la mejor solución, pueda después hacer un esbozo de la cuestión técnica en sus distintas partes, con objeto de poder darnos una idea aproximada de lo que podría representar para España la incineración de dichas basuras desde el punto de vista de la producción de energía térmica, y terminar, a su vez, con el grave problema de su actual manipulación, tantas veces olvidado, aunque periódicamente se lo resucite, sin conseguir, por ahora, ninguna realización práctica.

Naturalmente, y, al menos, en Madrid, sé que se arguyen, en primer término, como razones opuestas a todo intento de solución, los derechos adquiridos por los «traperos» y su futura ocupación en el caso de municipalizar esta clase de servicios. Creo que este asunto debe y puede resolverse por los propios Ayuntamientos, bien estableciendo un censo detallado de los interesados para admitirlos paulatinamente en los diversos servicios municipales e incluso en las nuevas instalaciones térmicas, bien por cualquier otro medio que se estime justo, y habrían de estudiar conjuntamente con otros Organismos, pero siempre con

la idea bien presente de que se trata de resolver un problema a más de un millón de habitantes que no debe nunca postergarse ante la sola posibilidad de crearlo a otros pocos miles de ciudadanos.

Otro punto importante será el de la obtención del capital necesario para la erección de las nuevas centrales, pero éste creo no será difícil de resolver si se parte de los presupuestos municipales de las grandes ciudades, con la aportación económica del Instituto Nacional de Industria y de algunos grupos de empresas privadas, como Unidad Eléctrica, S. A., que esperamos se habrán de interesar por el conjunto de las nuevas instalaciones, que, lógicamente, deberán conectarse a las redes eléctricas ya existentes, y, una vez que los estudios técnicos y económicos de detalle estén ultimados, llevándonos a la íntima convicción de que son útiles y necesarias las nuevas instalaciones que hoy esbozamos.

Muy interesante resulta también el tema del estudio técnico, teniendo en cuenta que deberá hacerse para todo el territorio nacional, comprendiendo todas aquellas ciudades cuya población sea, como mínimo, de unas 150.000 personas, pues, con ello, se conseguirá mayor rapidez de construcción, menores gastos preliminares y una normalización o, mejor dicho, unificación de los principales elementos que deban adquirirse. Desde este punto de vista creo que una reducida Comisión formada por técnicos de los Ayuntamientos más importantes, con la colaboración de especialistas en centrales térmicas del Instituto Nacional de Industria y Unidad Eléctrica, S. A., podría preparar rápidamente un programa conjunto técnico-económico que, aprobado por los Organismos superiores del Estado, podría llevarse prontamente a la práctica. Al propio tiempo debía estudiarse la forma de dar cierta autonomía a los diversos Municipios para la mejor explotación de las citadas instalaciones termo-eléctricas.

No queremos terminar este primer capítulo sin indicar las cifras principales que sobre producción de energía eléctrica y potencia de las nuevas centrales podrían obtenerse, y que son, para la primera, más de 220 millones de kilovatios-hora por año, y, para la segunda, alrededor de los 75.000 kw., lo que suponen, aproximadamente, cerca de un 30 y 35 %, respectivamente, de las cifras obtenidas de las principales térmicas españolas durante el año 1948; último

año al que corresponden las estadísticas oficiales publicadas por el Sindicato del Agua, Gas y Electricidad. Pero sin olvidar nunca que, para ello, no será necesaria la aportación de otros combustibles que las basuras, o a lo más, unas insignificantes cantidades de otras clases en determinadas circunstancias o épocas del año.

2.—LA MATERIA PRIMA: LAS BASURAS.

La clase especialísima del «combustible» que se ha de utilizar en este tipo de instalaciones incineradoras da origen a las diferencias fundamentales con las centrales térmicas normales.

Al aprovisionamiento precisa ya dedicarle cuidado extraordinario, como consecuencia de la multiplicidad incalculable de las fuentes productoras, es decir: los miles y cientos de miles de casas particulares, calles, plazas, jardines, hospitales, centros benéficos, mataderos, etc. etc., en los que es preciso recogerlas diariamente, lo que obliga a adoptar un medio de transporte de máxima elasticidad, como lo es el camión, bien dotándolo de motor de explosión o combustión, bien de tipo eléctrico mediante baterías de acumuladores, cuya elección dependerá, en definitiva, de la facilidad y precio del combustible líquido de que se disponga y de la curva de potencia de la central eléctrica correspondiente, que permita o no atender a la carga de grandes series de baterías, buscando así una marcha lo más económica posible de la misma. En muchos casos un sistema mixto puede ser tal vez la solución ideal.

De todas formas, y para evitar que las basuras puedan esparcirse o que su olor pueda ser perceptible, el camión habrá de ser completamente cerrado y proyectado en forma tal que pueda vaciarse con toda facilidad en las tolvas de descarga de la central. Existen, para estas clases de camiones, diversas patentes, según los países de origen, pero la patente «OCHSNER», empleada en las más modernas instalaciones suizas, parece reunir las características más convenientes para la función que tienen encomendada, y a ella nos vamos a referir a continuación.

Desde el año 1898 la Casa J. OCHSNER & CIE., S. A., de Zurich, ha contribuido en forma decisiva al desarrollo de estos importantes elementos auxiliares, pero imprescindible para una recogida ade-

cuada de las basuras, en bien de la salubridad pública, y ha lanzado al mercado muy diversos tipos de cubos y vehículos, que se complementan entre sí, y en los cuales se han tenido presentes los dos principios fundamentales siguientes:

a) Las basuras se deben recoger precisamente en el lugar donde se producen y tan pronto como sea posible, pues en estas condiciones resultan todavía inofensivas desde el punto de vista higiénico.

b) Su recogida no debe afectar en modo alguno a la limpieza de las calles, y la forma de llenar los camiones ha de ser tal que se efectúe sin desprendimiento alguno de polvo.

Los cubos que normalmente se fabrican tienen capacidades que oscilan entre los 25 y los 130 kgs., son de chapa de acero galvanizado, con uniones realizadas mediante soldadura eléctrica y con cubierta de charnela que cierra herméticamente. Están proyectados de tal forma, que durante la operación de vaciado en los camiones se apoyan en la tapa deslizante

de los mismos, que se cierra automáticamente (igual que la del cubo) una vez que se ha terminado la indicada operación. (Véase fig. 1.)

Para la construcción de los camiones se ha utilizado el llamado «sistema de compresión», puesto que las basuras de las grandes ciudades son, en general, muy voluminosas, pero de poco peso, con densidad aparente del orden de los 200 a 300 Kgs. por metro cúbico (*), de tal manera que un vehículo normal con capacidad para 8 metros cúbicos sólo llega a cargar de 2.000 a 2.500 kgs., por lo cual ha sido preciso recurrir a un procedimiento que permita comprimir convenientemente tales desperdicios para llenar perfectamente la caja del camión, aprovechando al máximo la capacidad de carga de éste. Como, además, se ha conseguido reducir al mínimo la tara del camión, mediante el empleo de aleaciones ligeras, es posible cargarlo con un peso doble del que puede llevar un vehículo normal lleno de basuras, puesto que, con tales innovaciones, la mencionada tara se reduce en unos 1.200 kgs. con respecto a los demás. Puede suprimirse hasta la pintura exterior, ya que las citadas aleaciones ligeras evitan la corrosión y facilitan también las operaciones de limpieza.

En la figura 2 puede observarse perfectamente la forma en que funciona el citado «sistema de compresión», mediante la acción de una placa inclinada que, presionando suficientemente las basuras con un cierto talud, hace conservar a aquéllas su última posición sin que recobren su estado primitivo.

La carga se efectúa por la parte posterior, vaciando los cubos a través de los distintos orificios de que va provisto el camión, como puede observarse en la anterior figura 1. Pueden vaciarse de 15 a 30 cubos (según su capacidad) antes de que sea necesario accionar el mecanismo de compresión, el cual puede manipularse, bien por el conductor desde su caseta, bien por parte de las personas situadas en la parte traseras, una vez han sido vertidos los cubos. También puede realizarse esta operación estando el vehículo en movimiento, de tal forma que, al volver a detenerse en otro lugar, para reanudar el proceso de carga, la parte posterior ya ha quedado libre de las basuras. Mediante cargas sucesivas se van superponiendo di-

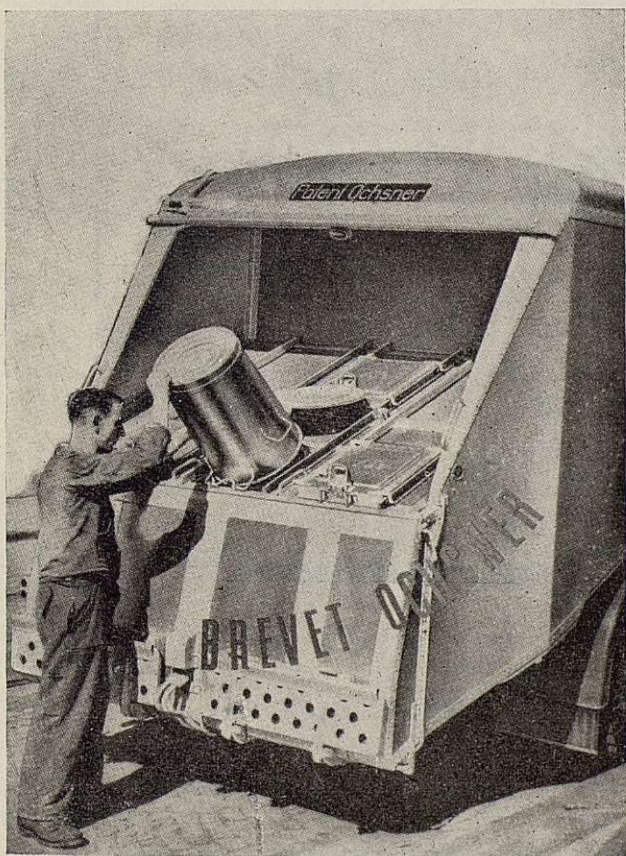
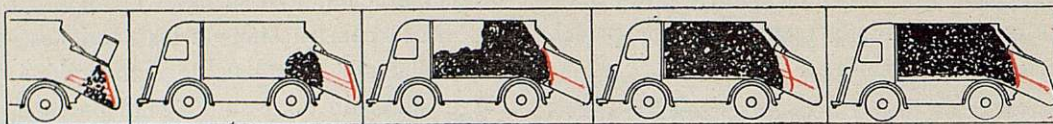
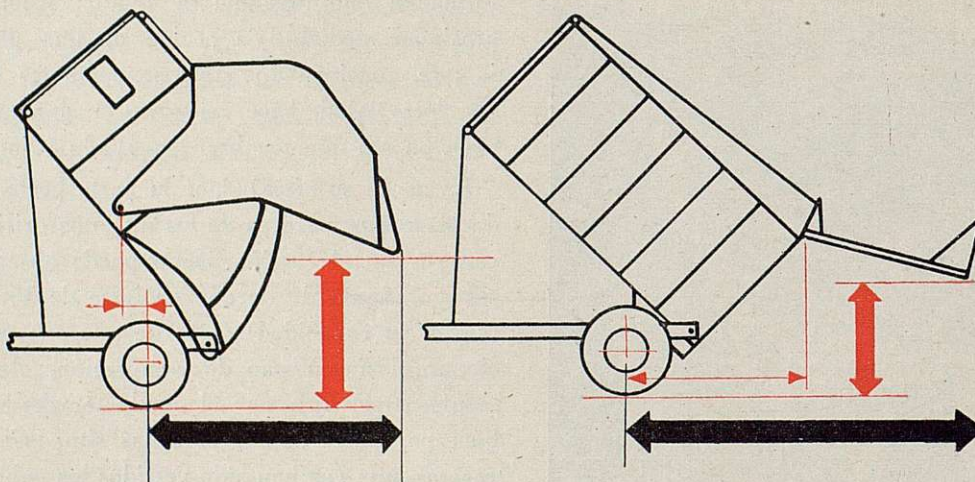
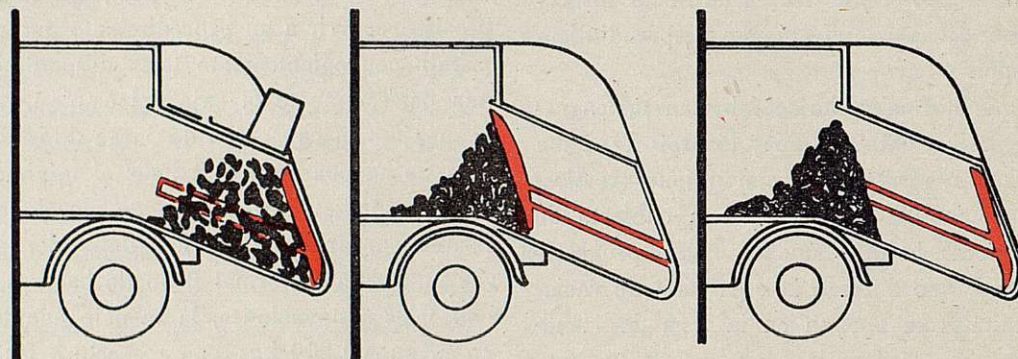


Fig. 1.—El camión «Ochsner».

(*) En París se ha comprobado variaciones de la densidad con las distintas estaciones del año con un valor medio de 227 kg/m³.



COMPRESION PREVIA DE LAS BASURAS
EN LOS CAMIONES PATENTE "OCHSNER"

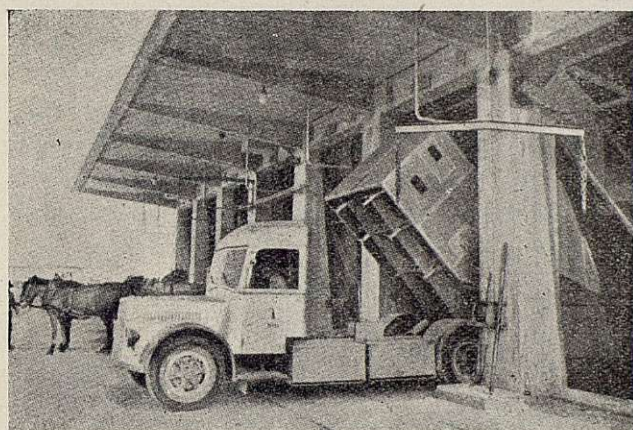


VENTAJAS DE LOS CAMIONES DE VISERA
"OCHSNER" SOBRE LOS DE PUERTA NORMAL.

Fig. 2

versas capas que se comprimen, como ya hemos indicado, y se presenta en la figura 2. De esta forma, al llegar a la máxima comprensión, se consiguen cargas del orden de un 150 a 200 % superiores a las de los camiones normales, según sea la calidad de los desperdicios predominantes.

Para vaciar el vehículo, la caja con las basuras bascula un ángulo recto aproximadamente y se realiza la operación en tiempo inferior a un minuto, ya que no existen obstáculos que impidan el deslizamiento. Puede también observarse, en la citada figura y en su parte inferior, la favorable altura de descarga y el menor espacio ocupado durante ella en esta clase de camiones especiales. Al volver a su posición normal la visera cae por su propio peso de forma



Descarga del camión «Ochsner».

que la caja queda herméticamente cerrada, sin necesidad de ningún dispositivo especial.

El precio de este tipo de vehículos es, naturalmente, superior a los de caja normal, pero se calcula que dicho aumento de coste queda sobradamente compensado durante el primer año de servicio, como consecuencia de su mayor capacidad de carga.

En resumen, puede decirse que este sistema cumple con todas las condiciones técnicas necesarias, no ya sin ningún gasto suplementario, sino todo lo contrario, pues permite realizar economías importantes en relación con los vehículos normales cuya explotación es, en general, bastante más elevada para este tipo especial de carga.

Si suponemos ya resuelto el problema de la recogida de las basuras, nos encontramos, al tratar de se-

guir adelante en el estudio de esta primera materia, que ha de alimentar las nuevas centrales incineradoras, con el no menos complicado de la determinación de la cantidad que será preciso recoger y el de la calidad de las mismas. La forma actual de recogida no permite en la mayoría de las ciudades establecer datos realmente representativos de unos valores medios que puedan ser tenidos en cuenta para futuros cálculos. Por ello, hemos utilizado, en principio, cifras reales procedentes de diversas ciudades francesas y suizas que cuentan con instalaciones de esta clase y que, por lo tanto, tienen en observación las principales características de los desperdicios recogidos en las mismas.

En general, y como promedio normal bastante aceptable, creo puede admitirse una cifra del orden de los 500 gramos de basuras por habitante y día, la cual, en lo que a Madrid se refiere, coincide bastante con la realidad, puesto que el tonelaje medio de basuras que se recoge diariamente en nuestra capital es, aproximadamente, de unas 550 toneladas, entre las transportadas por los «traperos» y los Servicios Municipales. Y dividiendo por 1.200.000 habitantes, obtenemos unos 470 gramos diarios por persona, cifra ésta que, naturalmente, habrá de aumentar aún, conforme las condiciones generales de alimentación del país terminen de mejorar y lleguen a un nivel normal o análogo al de las anteriores al año 1936.

Como es de suponer, la cantidad que se recoge de basura varía también según la estación del año que se considere. Es superior la de invierno a la de verano, con oscilaciones periódicas, a veces, bien marcadas, incluso en los días de la semana, con un valor máximo para el sábado y mínimo el domingo, según se ha comprobado en diversas ciudades francesas, tales como: Burdeos, Rouen, Nancy, Marsella, Roubaix, Bourges, Evreux, etc., etc., tal y como expresan los gráficos que se han representado en la figura 3, relativos a algunas de las citadas poblaciones. Y, aunque algunas de estas diferencias pueden parecernos una dificultad desde el punto de vista de la explotación de la central, en realidad, prácticamente, no ocurre así, ya que al existir entonces auténtica vigilancia sobre el aprovisionamiento, al iniciarse la marcha de la instalación, pueden hacerse previsiones sumamente exactas, que permitan un funcionamiento adecuado de la misma.

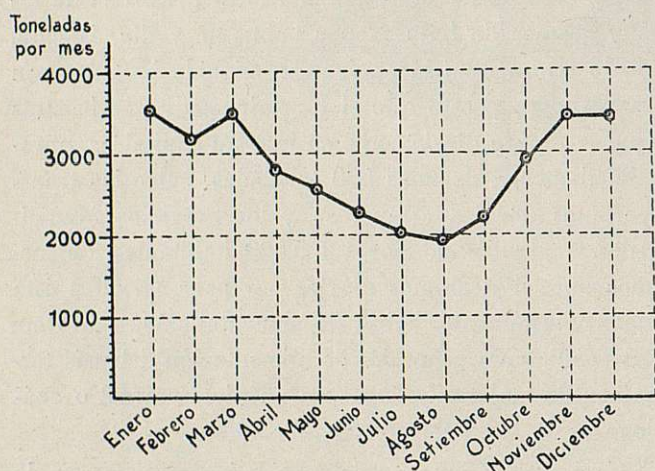
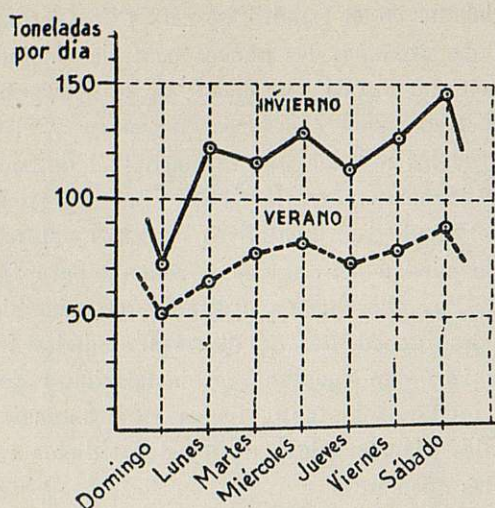


Fig. 3.—Oscilaciones periódicas en la recogida de basuras.

En la capital francesa se han observado también oscilaciones en la cantidad de basuras recogidas en relación con la temperatura ambiente (véase fig. 4), de tal forma que una variación de $\pm 1^\circ \text{C.}$, equivalía a otra en los desperdicios de ∓ 80 a 100 Tm. por día.

La calidad de las basuras es otro importantísimo elemento de juicio para fijar *a priori* las características aproximadas de los hornos y calderas necesarios, para la utilización del calor desprendido en su incineración. Sin embargo, la determinación de este punto no suele alcanzarse inicialmente con alguna exactitud, ante la dificultad de obtener previamente una muestra media representativa de la ciudad de que se trate; muestra que, además, varía sus condiciones en el transcurso del año, igual que ocurre con la determinación de la cantidad que se ha de recoger.

Por lo tanto, e igualmente a como hemos hecho con el problema cuantitativo, haremos ahora respecto del cualitativo, buscando, por lo menos, un valor medio aproximado que nos permita calcular las cifras iniciales, en cuanto se refiere a las posibilidades de utilización de nuestras basuras para la producción de energía eléctrica y calefacción por agua caliente. Si partimos, por lo tanto, de datos de distintas centrales extranjeras de este tipo, podemos decir que el poder calorífico inferior de las basuras suele oscilar desde 900 hasta cerca de 2.000 calorías por kilogramo. Se comprende que, lógicamente, en períodos de anormalidad, en casos de guerra, racionamiento de productos alimenticios, etc., estas cifras sufrirán importantes reducciones, con alternativas relativamente grandes de unos países a otros y de unas a otras regiones dentro de la misma nación, según los niveles de vida propios y aún de las preferencias por los distintos tipos de alimentos.

La composición media, en peso, de las basuras de una ciudad, será otro elemento que habrá que establecer en su día, pero, a título de orientación, vamos

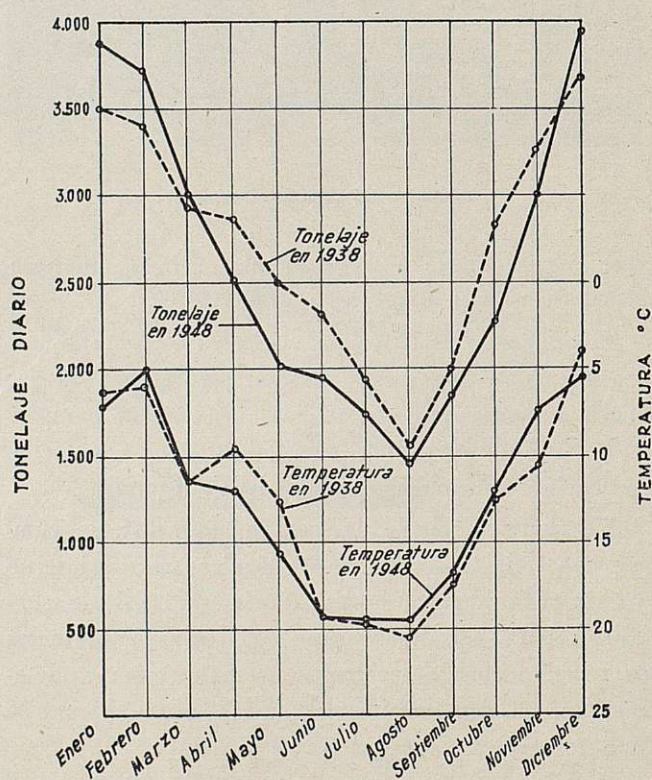


Fig. 4.—Oscilaciones en el tonelaje mensual de basuras en París en relación con la temperatura.

a dar algunas cifras obtenidas de dichas ciudades francesas, a saber:

Materias vegetales en bruto... ..	60,0 %
Materias vegetales que han sufrido algún tratamiento	23,0 %
Estériles diversos	8,0 %
Polvo fino	3,0 %
Materias animales... ..	3,0 %
Materias minerales	0,5 %
Agua (perdida en la preparación de la muestra)	2,5 %
TOTAL	100,0 %

Cuyo análisis elemental fué el siguiente:

Agua... ..	45 %
Cenizas (o sean sustancias incombustibles).	20 %
Carbono	17 %
Hidrógeno	2,5 %
O ₂ + N ₂ , etc.	15,5 %
TOTAL	100,0 %

Se obtiene así un poder calorífico inferior medio de unas 1.250 calorías por kilogramo.

En París el porcentaje de sustancias minerales no combustibles suele ser del orden del 17 %, y el poder calorífico medio ha sido normalmente de casi 2.000 calorías-kilogramo, cifra ésta durante la pasada guerra se rebajó a unas 1.400 calorías-kilogramo.

Por todo lo anterior, estimo que pueden admitirse, en principio, como una primera aproximación para el caso de nuestro país, las cifras medias siguientes:

Cantidad de basura por habitante y día... ..	500 gramos
Poder calorífico inferior de la basura... ..	1.000 cal/kg.

que utilizaré posteriormente para la determinación de la producción térmica posible en nuestro país a base de este «combustible», todavía no utilizado por nosotros racionalmente.

3.—LAS INSTALACIONES PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA

Como cuestión previa que se nos presenta al abordar el estudio de las instalaciones donde se han de incinerar las basuras para aprovechar el calor desprendido mediante su utilización posterior, es la de en qué forma ha de suministrarse la energía térmica a los consumidores de la misma. Así, por ejemplo, en Suiza, donde la producción hidroeléctrica era, en general, abundante y a precios relativamente bajos, la energía se suministra bajo forma de agua caliente o va-

por para calefacción mediante una red de distribución adecuada. En muchas ciudades francesas, por el contrario, se han instalado centrales para el suministro exclusivo de energía eléctrica, y en otras se han empleado sistemas mixtos, alternando o simultaneando ambas formas de energía. No olvidamos tampoco que existen 220 ciudades en el mundo con grandes redes de calefacción urbana, como las de Nueva York y París, la primera, con origen en 1882, y la segunda regulada su explotación a partir de 1927.

En nuestro país, donde la crisis de producción de energía eléctrica ha sido, es y será probablemente (*) un factor decisivo, creo no ofrece duda el partido que debemos tomar. Sin embargo, como en algún caso particular pueden convenir los servicios de calefacción o un sistema mixto, aludiremos en este capítulo a las diferencias principales que pueden distinguir unas instalaciones de otras, sin dejar de decir tampoco que, desde el punto de vista técnico, si se busca el máximo rendimiento termodinámico, es también la más aconsejable, pero, al propio tiempo, la más complicada en su instalación.

Para comprender mejor la descripción de una de estas centrales creo preferible empezar por el que pudiéramos llamar circuito funcional principal, es decir, el de las basuras, y completarlo con los del agua y vapor, así como el eléctrico, para destacar igualmente las partes fundamentales del primero y dar algunos detalles que nos diferenciarán del segundo, así como algunos comentarios y cifras relativas al último, por medio del cual ha de llegar, en definitiva, la energía a los consumidores.

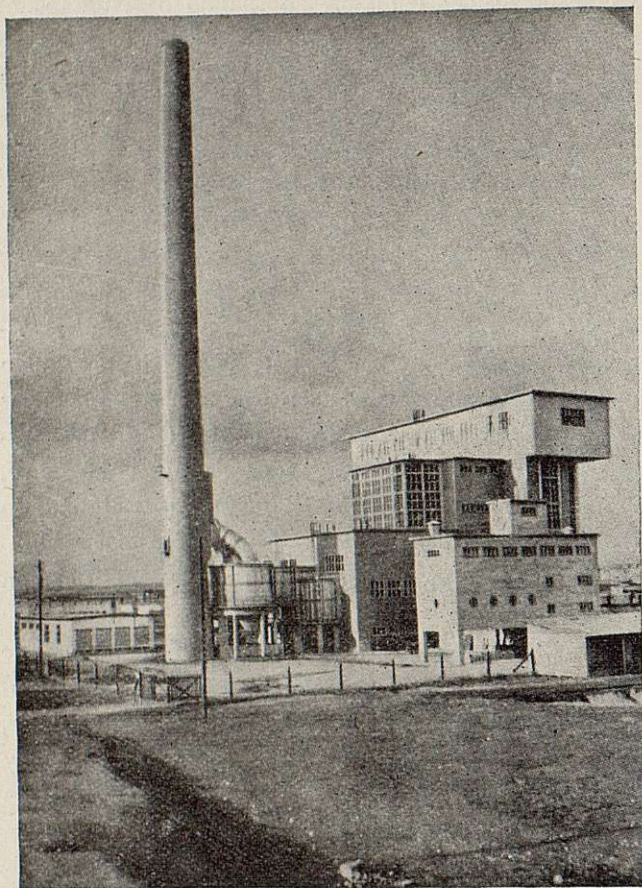
3.1.—EL CIRCUITO DEL «COMBUSTIBLE»

Para seguir el circuito funcional de las basuras nos valdremos de la disposición representada en la fig. 5, que corresponde a una central suiza de calefacción, pero que por su claridad hemos elegido mejor para este fin.

Las basuras transportadas principalmente en camiones, en los que se verifica el pesado, son descargadas por aquéllos directamente en el depósito subterráneo establecido para las mismas, que aparece designado

(*) Véase el «Apunte sobre el futuro eléctrico español» publicado por el Ingeniero de Caminos don Antonio Martínez Cattaneo en la *Revista de Obras Públicas*, en junio de 1949.

con el número 1. Se observa en el dibujo la puerta de acceso, con cierre hermético patentado, y la existencia de una marquesina bajo la cual se sitúan los



Una vista exterior de la central para la incineración de basuras y calefacción.

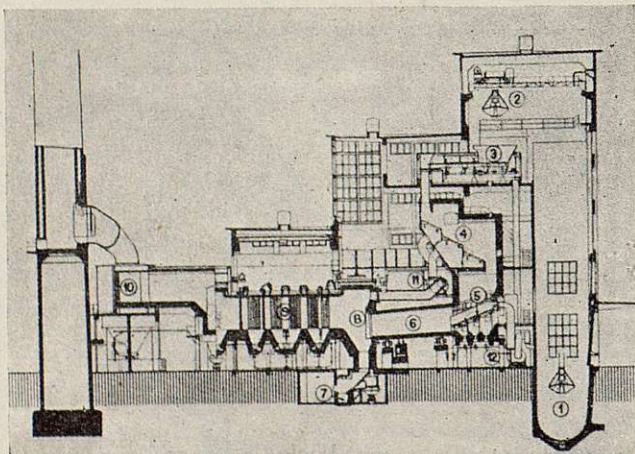


Fig. 5.—Central de Basilea.—El circuito del «combustible».

camiones para la descarga, con lo que evitan la posible caída de lluvia en la fosa de las basuras. Como en la parte superior del edificio y sobre la fosa de basuras están emplazados los ventiladores que aspiran el aire en combustión para los hogares, el polvo desprendido en la descarga de las mismas es impelido hasta las cámaras de combustión, y se crea al propio tiempo una pequeña depresión en el depósito subterráneo de basuras que evita la salida de éstas al exterior y que actúa favorablemente sobre las compuertas de cierre en el momento de la descarga. Desde la fosa, merced a un puente-grúa provisto de cuchara de garras 2, se deposita a continuación su contenido en la tolva del transportador horizontal 3, que, a su vez, va paulatinamente dejándolas caer en la parrilla de secado preliminar en tres etapas 4 (ya que no debemos olvidar el alto contenido en humedad de esta clase de desperdicios). Al terminar de descender por el último tramo de la anterior parrilla, las basuras se precipitan, también por la acción de la gravedad, sobre una segunda parrilla 5, de forma distinta, en donde se produce el encendido, pues aquella está en comunicación con el horno rotativo 6, de donde los productos de la combustión pasan, unos, como residuos, a la tolva inferior y canal de escorias 7, y los gases a la cámara de combustión 8, utilizándose el calor producido en la caldera de recuperación 9, para, finalmente, eliminar las cenizas muy finas arrastradas por ellos mediante el separador 10 y expulsarlos a la atmósfera a través de la chimenea.

Como puede observarse, las diferencias principales en relación con una central térmica normal provienen de las características especiales del combustible, que obligan a un tratamiento previo de secado mediante elementos emplazados antes de los de combustión propiamente dicha de las basuras. Los procedimientos que pueden seguirse para este tratamiento y combustión citados pueden ser muy diferentes. Existen, por lo menos, cuatro casas especialistas con patentes propias, entre las que vamos a destacar también, dada su gran utilización en Francia, los hornos continuos según el procedimiento patentado hace muchos años por «HEENAN & FROUDE». La fig. 6 nos muestra tres momentos relativos a las etapas principales de su funcionamiento, así como una sección transversal de una batería, que vamos a comentar a continuación:

A.—Primera etapa.

Se caracteriza porque sus elementos constitutivos desarrollan en ese instante las actividades siguientes:

- 1.^a) La tolva que gradúa la alimentación del horno está a punto para ser llenada.
- 2.^a) El hogar está en plena actividad.
- 3.^a) La parrilla inferior de escorias está cubierta de las cenizas incandescentes provenientes de la pa-

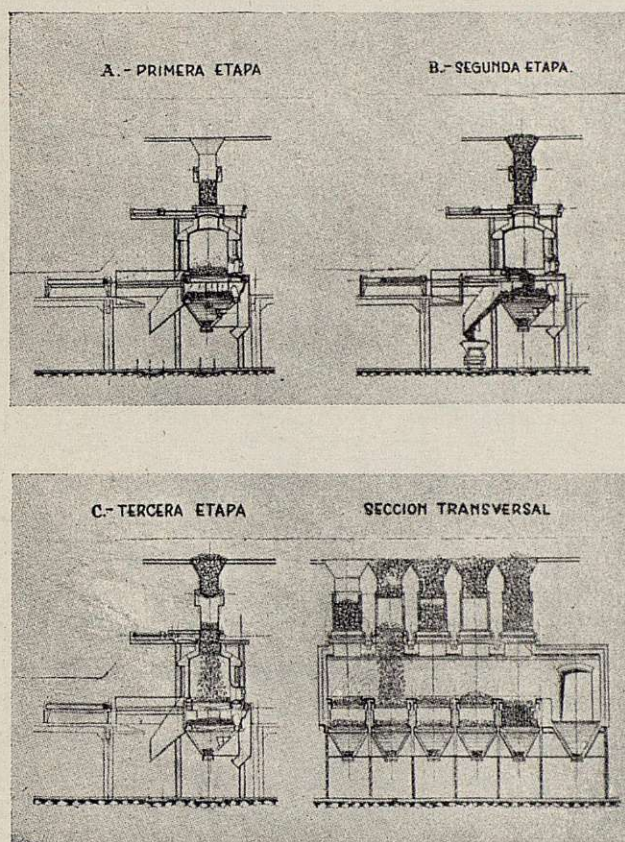


Fig. 6.—Horno continuo «Heenan & Froude».

rrilla superior (o de combustión), y es atravesada por el aire, llamado también de combustión, que se caldea en contacto con las mismas.

B.—Segunda etapa.

La actividad de las distintas partes ha pasado a ser la siguiente:

- 1.^a) La tolva de alimentación ha quedado totalmente llena.
- 2.^a) La combustión de las basuras ha terminado y por ello, mediante un movimiento de traslación hori-

zontal, la parrilla principal se oculta y deja caer las escorias en la parrilla inferior.

- 3.^a) Simultáneamente, y gracias a la acción de una raedera, movida a su vez por la parrilla superior, se van limpiando las escorias de la anterior hornada. Durante estas operaciones se suspende la entrada de aire a presión.

C.—Tercera etapa.

- 1.^a) Gracias a la apertura del registro de entrada se introduce en el horno una nueva carga de basuras.
- 2.^a) La parrilla principal, que ha vuelto ya a su posición primitiva, recibe sobre sí las nuevas basuras.
- 3.^a) La parrilla inferior, recubierta por las últimas escorias expulsadas y en estado incandescente, empieza nuevamente a ser atravesada por el aire de combustión a presión, que ascenderá en seguida hasta la parrilla superior.

En la última vista de la figura puede observarse una sección transversal del horno de cinco celdas o compartimientos, formando una batería, en la que se aprecia perfectamente el funcionamiento de conjunto que viene a ser como el de un horno continuo y da lugar a una composición media prácticamente constante de los gases obtenidos.

Con respecto a este tipo de hornos, de origen inglés, cuya capacidad suele ser de 100 toneladas por cada veinticuatro horas, y que están concebidos, no sólo según los principios racionales de la buena combustión, sino también como fruto de la experiencia de más de cuarenta años, pueden darse a conocer las siguientes características:

- a) La alimentación de los hogares se efectúa mediante pequeñas cargas convenientemente graduadas, merced a un juego de compuertas y registro deslizante provisto de accionamiento hidráulico.
- b) La incineración tiene lugar en la parrilla principal o de combustión situada en la parte superior, y que está dotada de gran superficie y permite un pequeño espesor de basuras.
- c) La cámara de combustión es común a todas las células del horno, lo que permite gran regularidad de funcionamiento.
- d) El aire de combustión es insuflado a débil presión, del orden de 60 a 80 mm. de columna de agua. Esta característica evita una verdadera separación me-

cánica de las basuras, así como el que exista polvo en el circuito recorrido por los gases, como puede comprobarse en la práctica, al no depositarse polvo en la chimenea. Conviene advertir a este respecto que otros tipos de hornos alcanzan presiones diez veces superiores a la indicada.

Esta débil presión del horno equivale a un ahorro de energía en el tiro, lo cual es otra consecuencia favorable del procedimiento.

e) La expulsión automática de las escorias en dos tiempos, gracias al sistema de traslación de la parrilla de combustión y de la de escorias, situada bajo la primera, ambas con accionamiento hidráulico, mediante mecanismos emplazados fuera del horno, evitan todos los inconvenientes derivados de la acción directa del fuego.

f) La introducción del aire a través de la parrilla inferior donde se encuentran las escorias incandescentes, disgregadas por la caída, da lugar a las siguientes ventajas:

1.^a) Calentamiento previo del aire precisamente un momento antes de la inflamación de la nueva carga.

2.^a) Provoca la combustión final y completa de las cenizas.

3.^a) Enfría y endurece las escorias, evitando la inmersión brusca en el agua, que suele presentar algunos inconvenientes.

g) Por lo general, todas las operaciones tienen lugar sin necesidad de puertas y aberturas que den entrada al aire frío, con lo que se evita el enfriamiento de los hornos y arrastres bruscos hacia la caldera.

h) Merced al sistema adoptado de mandos mecánicos de gran robustez y a la incineración en parrillas de gran superficie, se evitan a los obreros todas las maniobras penosas y todos los contactos con los distintos desperdicios y materias incandescentes.

Ultimamente, a este tipo de hornos se lo ha dotado de un blindaje exterior de chapa, por la colocación entre ésta y el refractario interior de una capa de material aislante; es decir, se sigue el mismo sistema de protección contra el calor que se utiliza en las modernas calderas de vapor.

Consecuencia de lo anterior es la mejora de su rendimiento térmico, evitándose, además, el enfriamiento del conjunto de los hornos con cada interrupción del servicio y alargando la vida del material refractario.

En la fig. 7 se ha presentado gráficamente el ba-

lance térmico de uno de estos hornos, efectuado en Burdeos durante el período de verano del año de su inauguración, 1933.

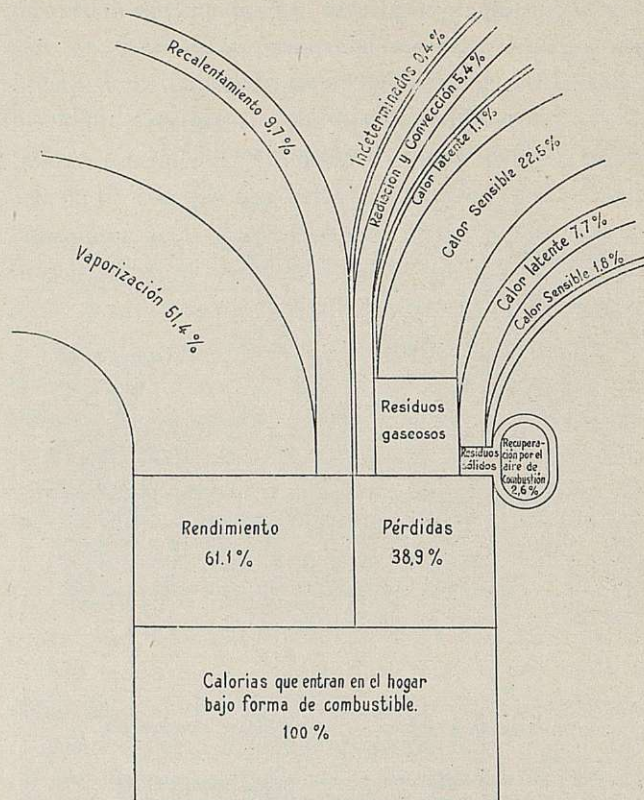


Fig. 7.—Balance térmico de horno «Heenan & Froude».

Como es natural, y a continuación de estos hornos, se coloca la caldera de recuperación correspondiente en la que se produce bien el vapor recalentado, que ha de accionar las turbinas, o el agua a elevada y constante temperatura que alimentará la red de calefacción.

3.2.—EL CIRCUITO DEL AGUA.

La circulación del agua y vapor correspondiente puede presentarse según tres circuitos distintos, ya se trate de producción de energía eléctrica exclusivamente, suministro de agua o vapor para calefacción o un sistema mixto que tenga su origen en los dos anteriores.

En la fig. 8 se ha dibujado esquemáticamente y en forma sumamente sencilla el primer caso, es decir, el de producción de energía eléctrica con condensación pura. El agua es suministrada a la caldera merced a una bomba de alimentación, con accionamiento eléc-

trico o de vapor, y se transforma en vapor en el interior de la misma para alcanzar la temperatura máxima a la salida del recalentador; después, mediante una

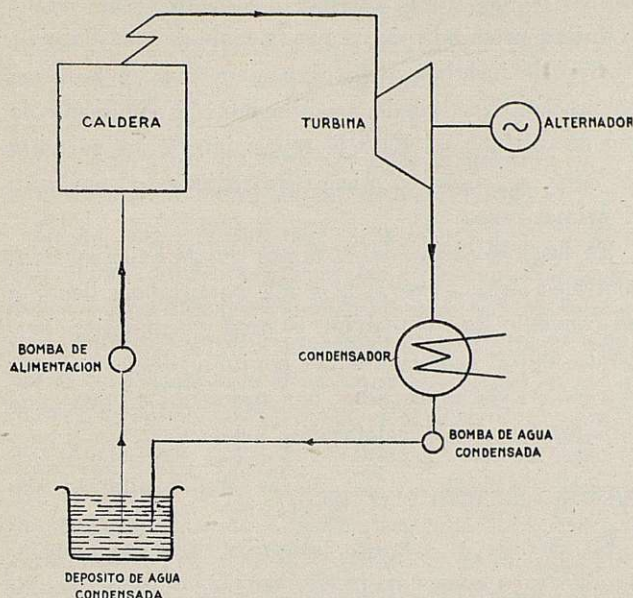


Fig. 8.—Circuito del agua en el caso de producción de energía eléctrica.

conducción apropiada, penetra en la turbina de vapor, que a su vez acciona el alternador eléctrico correspondiente. El vapor, después de expansionarse en la turbina, llega al condensador situado debajo de la misma, donde se condensa y pasa nuevamente al estado líquido, gracias al enfriamiento producido por la corriente de agua en circulación del circuito de refrigeración, y que tiene carácter independiente. El agua condensada es llevada, mediante una bomba, al depósito citado en primer término, desde donde comienza nuevamente el ciclo. Como es lógico, a lo largo de este circuito del agua y su vapor se producirán ciertas pérdidas que será preciso reponer mediante la aportación de agua convenientemente depurada, y que no se ha presentado, para mayor sencillez de la figura.

La fig. 9 nos presenta el segundo caso, o sea, el de la producción de agua caliente para calefacción; es decir, la producción de energía térmica pura sin su transformación posterior.

Como siempre, el agua se introduce a presión en la caldera mediante una bomba de alimentación; en ella se elevan la presión y la temperatura hasta el valor deseado, y se utiliza también el recalentador correspondiente. Por lo general, en las instalaciones más mo-

dernas, se emplea también un acumulador de agua caliente provisto de un dispositivo que regula automáticamente la temperatura del agua que debe suministrarse a la red de calefacción mediante una bomba de agua caliente. A lo largo de toda la red de calefacción el agua se enfría paulatinamente hasta ser recogida en el colector o depósito de agua fría, en donde comienza nuevamente el ciclo. Las pérdidas de agua se reponen como en el caso anterior, si bien suele tener menos importancia su depuración por ser menor la temperatura y no existir la transformación en vapor y el posible arrastre de sustancias nocivas, como la sílice, que se depositan en los álabes de la turbina u otros que pueden producir su corrosión.

La red de calefacción puede ser también a base de vapor de agua y, en tal caso, la salida de los colectores de distribución desde la central conducirá el vapor a los distintos lugares de utilización, y en ellos deberán colocarse purgadores para el agua condensada a distancias del orden de los 400 ó 500 metros; se eliminan, en cambio, las bombas para circulación del agua caliente. Se han presentado algunos problemas de dilatación para las tuberías de gran diámetro, que han quedado en general resueltos merced a la utilización de juntas deslizantes.

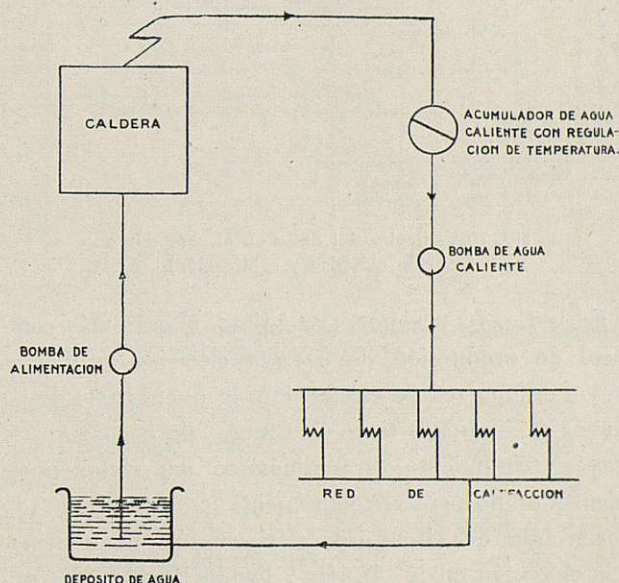


Fig. 9.—Circuito del agua en el caso de alimentar una Red de Calefacción.

El calor así distribuido puede aprovecharse, no sólo para la calefacción normal de edificios, sino también para ciertos usos industriales localizados en las ciuda-

des, tales como lavaderos, secaderos, instalaciones de desinfección, confiterías, preparación de productos farmacéuticos, etc.

Las ventajas que, además, pueden atribuírsele a una red urbana de calefacción son, principalmente, las siguientes: Eliminación de peligros de incendio en las casas particulares, así como de las dificultades derivadas del aprovisionamiento múltiple de combustible, íntimamente relacionado con el de la evacuación de las cenizas correspondientes; supresión de chimeneas y humos procedentes de los sistemas de calefacción central y posibilidad de regular automáticamente el consumo de calor de acuerdo con la temperatura ambiente.

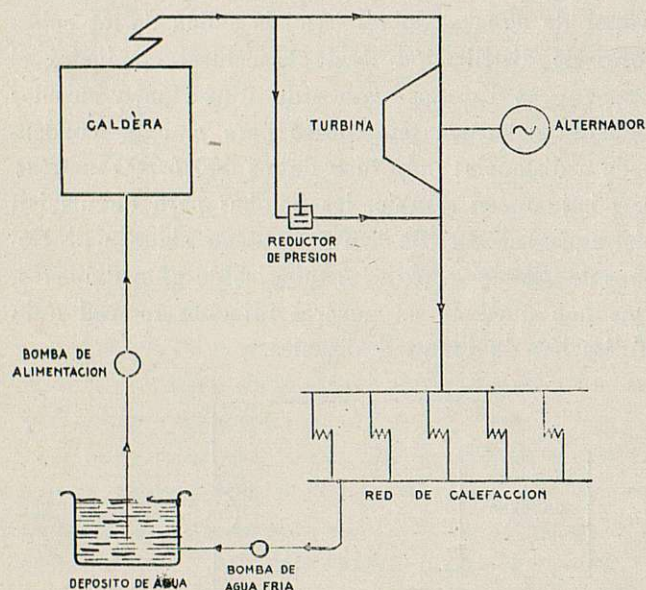


Fig. 10.—Circuito del agua en el caso mixto (energía eléctrica y calefacción).

En la fig. 10 tenemos, por último, el caso más completo de producción de energía eléctrica y alimentación de una red de calefacción, lo que, aparte de su mayor flexibilidad, tiene la ventaja de conseguir un mayor rendimiento termodinámico del ciclo, pues, además de no perderse inútilmente el calor arrastrado por el agua del circuito de refrigeración, permite mayor elevación en la presión y temperatura en la producción del vapor que se traduce en energía termoeléctrica en el turbogenerador correspondiente. Como siempre, la caldera es alimentada por el agua impulsada mediante una bomba. Después de transformarse en vapor recalentado, acciona la turbina de vapor, y

al salir de ésta se sigue expansionando a todo lo largo de la red de calefacción, en donde se condensa, y se recoge en el depósito de agua, bien por la acción de una bomba o por gravedad. Para los casos en que se quiera prescindir de la producción de energía eléctrica suele instalarse una derivación con un reductor de presión, que puede así alimentar directamente la red de calefacción. Para la reposición de las pérdidas de agua se sigue el mismo procedimiento que para el primer caso.

En las localidades importantes donde existían otras centrales térmicas será de suma importancia llegar a un convenio de cooperación técnica y económica, buscando mejor explotación del conjunto de las mismas y tratando de desarrollar por todos los medios una importante red de calefacción urbana.

3.3.—EL CIRCUITO ELÉCTRICO.

En cuanto al circuito eléctrico, será sumamente sencillo y en consonancia con las redes locales. De las bornas del alternador se pasará a las barras de distribución, de 6.000 V., que es la tensión normal en estos casos, dadas las potencias máximas que se han de obtener, y desde éstas, a través de desconectadores, interruptores automáticos y demás aparatos de protección y medida, se elevará mediante transformadores a la tensión normal de la red de distribución en alta, para reducirla más tarde a la tensión de baja de las distintas zonas de la ciudad en tantas subestaciones de transformación como fuesen necesarias. O, por el contrario, si la red local corresponde con la tensión de alternadores, se hará la distribución en alta a dicha tensión, para pasar después a los transformadores reductores de las subestaciones de baja tensión.

Al propio tiempo se preverán las interconexiones precisas con las redes generales de alta tensión que puedan ser necesarias y que se estudiarán en cada caso concreto. Debe insistirse en las ventajas de interconexión con las demás centrales eléctricas de la localidad, especialmente, con las térmicas, si las hubiere.

Creemos no es necesario insistir más en este circuito, por ser el más conocido en general y no tener mayores complicaciones, con la posibilidad, además, de que, prácticamente, la totalidad de sus elementos pueden construirse en España, lo que no sucede con muchas de las instalaciones necesarias para los otros circuitos.

4.—LA PRODUCCIÓN: ENERGÍA ELÉCTRICA Y CALEFACCIÓN.—SUBPRODUCTOS.

De conformidad con los tres esquemas que hemos citado en el capítulo precedente, caben tres formas de producción distintas, a saber:

- Energía eléctrica.
- Agua caliente o vapor para calefacción.
- Solución mixta de las dos anteriores.

Desde luego, la solución ideal es la última, y es la que debe tratarse de aplicar en todas aquellas localidades donde sea posible instalar una red de calefacción a distancia, pues con ello se aprovecha al máximo el calor contenido en el vapor producido en la caldera y se evitan las pérdidas caloríficas derivadas de la condensación pura. Sin embargo, como la solución que se adopte debe estudiarse con detalle y concretamente en cada caso particular, nos limitaremos a considerar el caso de la producción de energía eléctrica de más fácil evaluación y que nos sirva para un cálculo aproximado de nuestras posibilidades nacionales.

Conviene señalar también que, además de la producción térmica propiamente dicha, pueden obtenerse otros subproductos dignos de atención, como son el «humus» vegetal y alguna chatarra, o, mejor dicho, residuos metálicos diversos que puedan también recuperarse, así como la posible producción de basalto artificial, de los que someramente nos ocuparemos al final de este capítulo.

Para darnos idea de los resultados de la explotación de una central de esta naturaleza, veamos las cifras correspondientes a una ciudad francesa, cuyo número de habitantes es de unos 150.000, aunque advertiremos que como estos datos no son muy recientes se los podrá mejorar con instalaciones más modernas, sobre todo en ciudades más pobladas, donde habrá posibilidad de instalar grupos de mayor potencia. Los datos son los que, gráficamente, se han representado con las cifras obtenidas según los dibujos de la fig. 11.

En el primero, que ocupa la parte inferior, se han tomado como ordenadas las toneladas de basura incineradas mensualmente, que, como vemos, presenta un mínimo en el mes de agosto del orden de las 1.700 toneladas métricas, influenciado, indudablemente, por desplazamiento de muchas familias durante el verano a regiones de clima más benigno, y con un máximo

de unas 3.000 Tm. en el mes de diciembre; cifra ésta que también ha debido sentir el peso de las abundantes comidas navideñas. Como término medio pueden admitirse unas 2.500 Tm. por mes, lo que representa alrededor de 85 Tm. diarias y confirma nuestros anteriores cálculos.

En el gráfico siguiente, colocado inmediatamente encima del precedente, y que, como todos, lleva en abscisas los meses del año, se han indicado los kilovatios-hora producidos, con un mínimo de 210.000 y un máximo superior a los 660.000 kw-h. mensuales, en

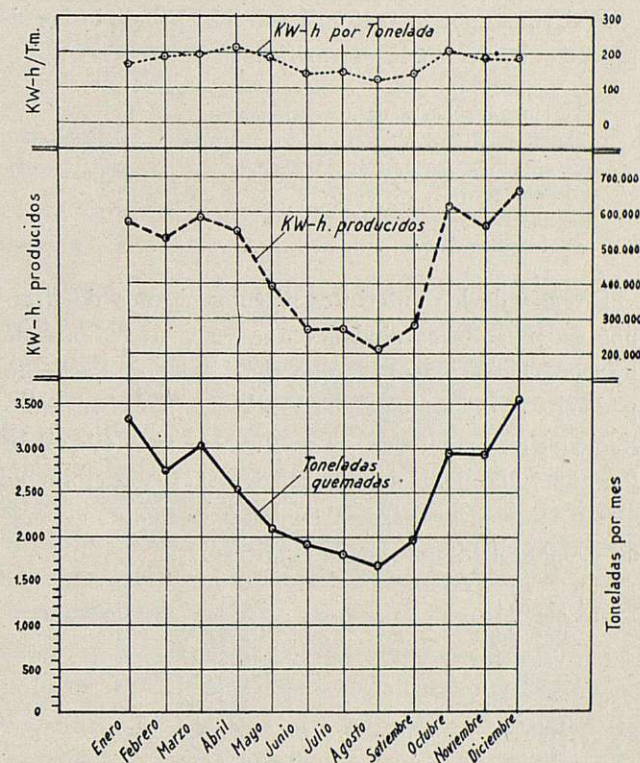


Fig. 11.—Producción de energía eléctrica partiendo de basuras en una ciudad de 150.000 habitantes.

correspondencia con los citados para las basuras, con una producción media de unos 450.000 kw-h. por mes.

Por último, en la parte superior del gráfico están los valores específicos de la producción en kilovatios-hora por tonelada con valores ya más compensados y que oscilan entre 120 y 210 kw-h./Tm., con un valor medio que puede estipularse en unos 185 kw-h./Tm.

Si tenemos en cuenta el poder calorífico de las basuras, ligeramente superior a las 1.100 calorías por kilogramo, obtendremos, en definitiva, un consumo

calorífico medio aproximado de unas 5.900 cal/kw-h.; cifra ésta que puede mejorarse hoy, aun en grupos de pequeña potencia, hasta unas 5.500 cal/kw-h., como mínimo. En cuanto a instalaciones mayores con grupos de potencia del orden de los 10.000 kw., y mejorando en lo posible el rendimiento térmico de toda la instalación, procurando elevar la presión y la temperatura del vapor, estimamos que se podrían tal vez disminuir hasta unas 4.750 cal./kw-h. y aún menos. Para las grandes ciudades de más de un millón de habitantes e instalaciones de mayor rendimiento admitiremos 4.500 cal./kw-h.

Podremos, por lo tanto, suponer en principio las siguientes equivalencias caloríficas:

En ciudades hasta de unos 150.000 habitantes	5.500 cal./kw-h.
En ciudades de más de 150.000 habitantes	4.750 » »
En ciudades de más de 1.000.000 de habitantes	4.500 » »

Después de los anteriores cálculos, hemos de fijarnos ya en aquellas ciudades que sean susceptibles de una instalación como las que consideramos. Para ello podemos partir de los datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística en su Anuario 1948-49, según los cuales la población calculada en 1.º de julio de 1949 para las principales ciudades españolas de más de 100.000 habitantes, es la siguiente:

Madrid	1.219.206 habitantes
Barcelona	1.149.899 »
Valencia	602.821 »
Sevilla	406.518 »
Zaragoza	312.066 »
Málaga	291.006 »
Murcia	238.103 »
Bilbao	228.703 »
Granada	196.133 »
Córdoba	189.559 »
Las Palmas	171.492 »
Palma de Mallorca	142.631 »
Valladolid	142.518 »
La Coruña	139.223 »
San Sebastián	132.138 »
Alicante	122.768 »
Santander	118.514 »
Almería	110.582 »
Salamanca	103.372 »

Si tenemos presente que lo normal es partir de poblaciones del orden de los 150.000 habitantes y contamos con el rápido crecimiento de poblaciones como Valladolid, La Coruña y San Sebastián, más otras dos como Gijón y Vigo, que por no ser capitales de

provincias, no figuran en el citado Anuario, podremos establecer finalmente las siguientes poblaciones totales:

Dos ciudades de más de 1.000.000 de habitantes, con un total de 2.369.100 habitantes.

Nueve ciudades de más de 150.000 habitantes, con un total de unos 2.636.400 habitantes.

Seis ciudades de cerca de 150.000 habitantes, con un total de unos 856.500 habitantes.

Lo que nos conduce al siguiente cuadro-resumen donde se cifran las cantidades de basura recogida, calorías desprendidas en su incineración y producción de energía eléctrica a saber:

Ciudades	Número de habitantes	Basura recogida diariamente Kgs.	Basura recogida anualmente Kgs.	Calor producido anualmente Cal./ks. $\times 10^6$	Energía eléctrica por año kw./h $\times 10^6$
2	2.369.100	1.184.550	426.438	426.438	94,8
9	2.636.400	1.318.200	474.552	474.552	99,7
6	856.500	428.250	154.170	154.170	28,0
17	5.862.000	2.931.000	1.055.160	1.055.160	222,5

Si consideramos que la utilización de las centrales térmicas en España es del orden de las 3.500 horas, la potencia que habría que instalar sería:

$$P = \frac{222.500.000}{3.500} = 63.500 \text{ kw.}$$

Es evidente que en los actuales momentos por que atraviesa el mercado nacional podría aumentarse la utilización de estas centrales, pero como habrá que contar con cierta reserva y prever aumentos de población durante un espacio de unos veinte años, tiempo de vida económica de estas centrales, debemos admitir, en definitiva, la instalación de una potencia de aproximadamente 75.000 kw.; cifra que habría que rectificar a la vista de la unificación de la potencia de los grupos y demás detalles que se deduzcan del estado definitivo.

Las cifras que, por lo tanto, quedan fijadas, es decir, una producción de 222,5 millones de kw-h. y una potencia de 75.000 kw., representan, respectivamente, el 22 % y cerca del 17 % de la producción y potencia térmica totales correspondientes a 1948; porcen-

tajes interesantes, sobre todo si se tiene en cuenta que no habrán de consumirse combustibles de interés para otras instalaciones.

OBSERVACIÓN: Después de efectuado el cálculo anterior he recibido datos de una de las principales casas especialistas en esta materia, con arreglo a los cuales, y de una manera simplista, la equivalencia entre la basura recogida y la producción eléctrica podría establecerse como sigue:

1 kg. de basura \leq 1 kg. de vapor de agua.
5 kgs. de vapor de agua \leq 1 kw-h.

y, por lo tanto, según estas cifras la producción aproximada sería de:

$$\frac{1.055.160.000}{5} = 211 \times 10^6 \text{ kw-h. año}$$

cifra, como se ve, muy próxima a la establecida anteriormente y que, por lo tanto, nos afirma en su validez.

4.1.—SUBPRODUCTOS: «HUMUS» FERTILIZANTE Y BASALTO ARTIFICIAL.

Existe también la posibilidad de transformar una parte de las basuras en abonos, de forma que se puedan satisfacer algunas de las más imperiosas necesidades de la agricultura. Para ello es preciso almacenar separadamente los residuos de los mercados públicos, tales como restos de frutas, legumbres, verduras, flores, arbustos y otros diversos detritos, los cuales se someten después a un proceso de cocción, aprovechando el vapor obtenido como consecuencia de la incineración de las demás basuras. Esta operación se subdivide realmente en dos:

a) Cocción propiamente dicha, con caldeo intenso.

b) Secado hasta obtener un grado adecuado de humedad.

Por este procedimiento se obtiene un «humus» fertilizante completamente estéril, que no produce emanaciones desagradables y que puede distribuirse en forma de polvo sin dificultades para su transporte. Algunos de los análisis de los productos fertilizantes obtenidos de esta forma en el Municipio de Zurich, en Suiza, han dado los resultados que se indican a con-

tinuación, partiendo de un grado de humedad del producto del orden del 25 %:

Carbono	25,5 %
Nitrógeno... ..	2,8 %
Acido fosfórico... ..	1,2 %
Potasa... ..	2,3 %
Cal... ..	4,4 %

Para que se forme idea de la riqueza de este fertilizante, indicamos a continuación las principales características del estiércol de cuadras, cuyo contenido en agua es muy próximo al 75 %:

Nitrógeno... ..	0,50 %
Acido fosfórico... ..	0,26 %
Potasa	0,53 %

Se observa, además, como principal diferencia el notable contenido en carbono, lo que constituye para los agricultores un elemento muy apreciado en la preparación de las tierras.

Todavía es posible mejorar este fertilizante al agregarle durante la cocción residuos procedentes de los mercados de carnes y pescados, incluso si se mezclan con las cenizas finas procedentes de la incineración de otras basuras, lo que permite, además, graduar a voluntad la riqueza de este nuevo fertilizante con otra ventaja importante. Puesto que, en general, la posibilidad de una buena cosecha está condicionada a la acidez del suelo, es decir a su «pH», y como el polvo fino de cenizas tiene, en general, una fuerte proporción de alcalino-térreos, se puede modificar el grado de acidez del conjunto en la forma más conveniente, y es ésta una de las grandes ventajas que favorecen el tratamiento combinado de las principales basuras orgánicas y de la incineración de las restantes.

El precio de coste de este tipo de fertilizante es, en general, sumamente bajo, ya que el vapor necesario procede también de la propia instalación incineradora, y permite regular la producción según las necesidades, ya que, de no ser preciso, todas las basuras podrán quemarse en determinadas épocas del año.

Otro posible subproducto, todavía en período de experimentación, es el de la fabricación de basalto artificial mediante la fusión en horno eléctrico de las escorias procedente de las basuras. En los ensayos experimentales se han obtenido los siguientes resultados comparativos:

CARACTERÍSTICAS	Basalto artificial	Basalto natural
Peso específico en kg/dm ³ ...	3,4	3,1
Densidad en kg/dm ³	3,24	3,0
Porosidad aparente en %...	1,96	5,25
Resistencia a la compresión en kg/cm ²	4361	3200
Coefficiente de desgaste cm ³ /cm ²	0,033	0,12
Grado de dureza	6,5	6,0

Un material cuyas características son las indicadas y que puede obtenerse en estado de fusión, dando forma a las piezas más diversas, puede tener muchas utilidades, tales como: losas para pavimentos, bordillos para aceras, ladrillos u otros elementos de construcción de gran resistencia, así como cubre-cables, tuberías, etc.

5.—LOS PROBLEMAS ECONÓMICOS Y EL COSTE DE PRODUCCIÓN.

Evidentemente, al problema económico que se deriva de este proyecto, para la financiación del mismo, hay que concederle especial importancia, tanto por la cifra total que se ha de desembolsar, si se quiere llegar a una solución de conjunto, como parece lógico, y normalizando o unificando gran parte de los principales elementos, como por tratarse de una empresa sumamente difícil de abordar directamente por el capital privado, ya que los servicios de basuras dependen, normalmente, de los Ayuntamientos y, lógicamente, correspondería a éstos la explotación de las centrales, aunque en algunas grandes poblaciones se las ha arrendado a empresas privadas que abonaran al Municipio una cantidad anual variable según las condiciones y circunstancias propias de cada caso particular.

Por ello estimamos que la fundación inicial de esta empresa debería estar encomendada al Instituto Nacional de Industria, pero con aportaciones de capital por parte de una Mancomunidad de Ayuntamientos y de Unidad Eléctrica, S. A., en bien de la mejor utilización de las instalaciones.

Después de estas consideraciones preliminares sobre la forma de constituir el capital inicial, vamos a pasar a estimar aproximadamente las necesidades del mismo, así como también a efectuar un tanteo del coste técnico de la energía producida dentro de la aproximación que es hoy posible, aunque hemos de considerar

la inestabilidad de los mercados y de las monedas representativas de los distintos países.

Una idea del capital total necesario podemos deducirla de la potencia global de 75.000 kw., que se presupone que se han de instalar, subdividida en unas 17 centrales, lo que equivale a considerar instalaciones de un tipo medio del orden de los 5.000 kw., dotadas, además, de elementos especiales para el tratamiento previo de las basuras y de un importante móvil de camiones.

Si tenemos presente el coste actual de las grandes térmicas construídas en España, con cifras del orden de las 3.000 a 4.000 Pts./kw. y que en el extranjero instalaciones de aprovechamiento de basuras modernas oscilan hasta cifras próximas a las 15.000 Pts./kw. y se tiene en cuenta los cambios actuales y los mayores costes de construcción y mano de obra extranjeras, así como el menor de los elementos que se hayan de fabricar en España, estimamos que un valor inicial en nuestro país para el coste por kilovatio instalado puede tomarse prudentemente en unas 8.000 pesetas, lo que nos conduce a una cifra de capital total de 600 millones de pesetas, aproximadamente.

Si admitimos como aceptable la cifra anterior, podemos pasar a considerar el posible coste de producción de la energía en una central de tipo medio de unos 5.000 kw., cuyo capital necesario, según lo indicado anteriormente, sería:

$$5.000 \times 8.000 = 40 \times 10^6 \text{ pesetas.}$$

El capítulo de cargas financieras puede establecerse, en principio, así:

Interés del capital	7,00 %
Reparaciones y recambios	3,00 %
Amortización y seguros	1,50 %
Impuestos y varios	2,50 %
TOTAL	14,00 %

Los gastos anuales del personal propio de la central pueden evaluarse, en una primera aproximación, como sigue:

1 Técnico	50.000 ptas.
4 Contramaestres	160.000 "
40 Obreros especialistas	640.000 "
TOTAL	850.000 ptas.

La partida que debe tenerse en cuenta por combustible, teniendo presente que el coste del mismo se reduce al importe de su transporte y que para éste pue-

de partirse de un precio unitario de 4 Pts./Tm. × km. y de un recorrido medio de 2 km.; así como recordando la equivalencia de 5 kgs. de basuras con 1 kw-h., tendremos:

$$\frac{2 \times 4 \times 5}{1.000} = 0,04 \text{ Ptas./kw-h.}$$

Y, por último, si asignamos para otra diversos materiales, como: lubricantes, productos químicos, material de limpieza, material de oficina, gastos generales y varios, una cifra del orden de los 0,042 kw-h., podremos ya establecer la suma total:

Cargas financieras:

$$\frac{0,14 \times 40 \times 10^6}{3.500 \times 5.000} = 0,320 \text{ Ptas./kw-h.}$$

Personal:

$$\frac{850.000}{17.500.000} = 0,048 \text{ " "}$$

Combustible:

$$\frac{2 \times 3 \times 5}{1.000} = 0,040 \text{ " "}$$

Otras primeras materias, gastos generales y varios

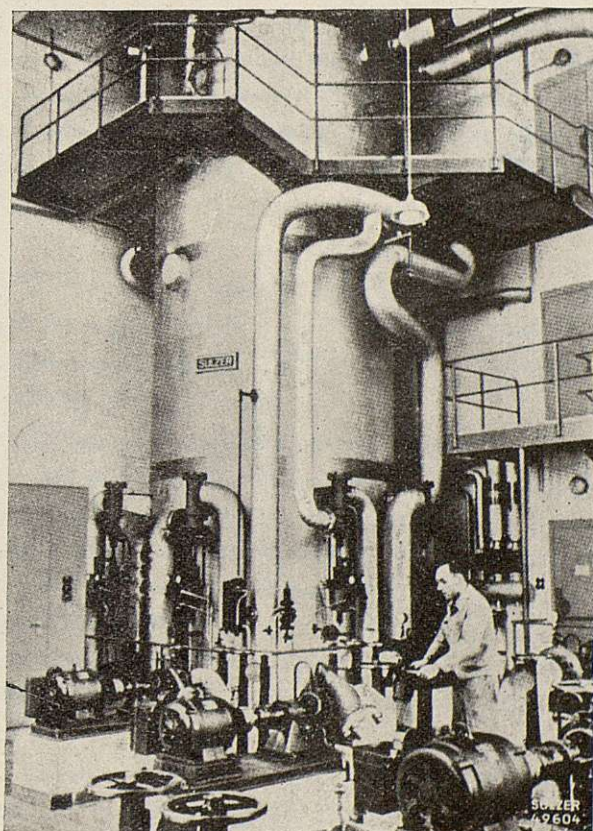
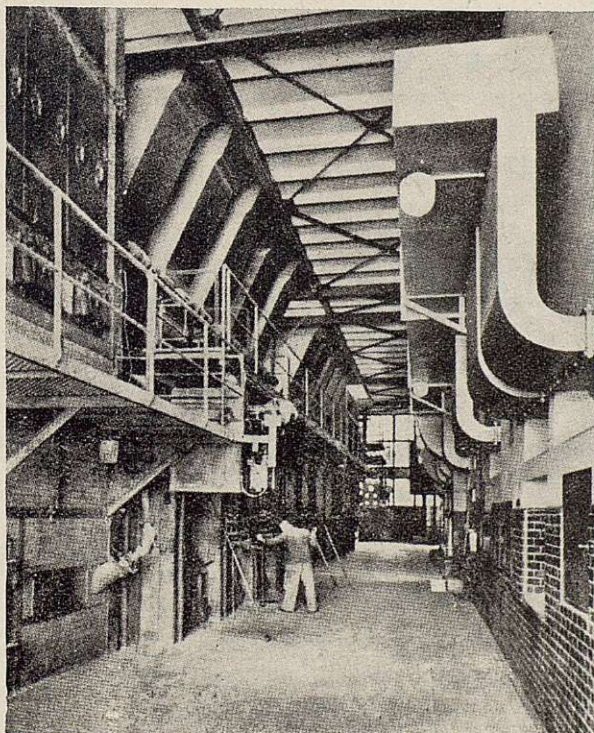
$$0,042 \text{ " "}$$

$$\text{TOTAL } 0,450 \text{ Ptas./kw-h.}$$

Si a la cifra anterior aumentamos todavía un 10 % por beneficio industrial e imprevistos, se alcanza un precio de venta del orden de 50 cts./kw-h., que no nos parece exagerado en comparación con los de muchas térmicas antiguas o de reciente instalación.

También conviene tener en cuenta que en aquellos casos donde sea posible organizar los servicios de calefacción urbana se mejorarán los rendimientos del conjunto de las instalaciones, con rebajas apreciables en cuanto al anterior precio de la energía eléctrica, que debe considerarse tan sólo como de orientación y en las condiciones actuales de los mercados nacional y extranjero susceptibles de cambios importantes en el transcurso de los próximos años.

Indudablemente, la cifra apuntada debe también admitirse como un valor medio, teniendo presente la utilización fijada de 3.500 horas, si bien ésta es muy posible que pudiera aumentarse a cifras muy próximas a las 5.000 horas, al menos, en los primeros años y en otros de pronunciado estiaje, aunque para ello fuese preciso alguna pequeña aportación de com-



Dos vistas del interior de la central de Basilea.

bustibles sólidos o líquidos de empleo normal en el mercado. En tal caso, el coste técnico sería de poco más de 35 cts./kw-h. y el de venta, como máximo, de 40 cts./kw-h.

CONCLUSIONES.

PRIMERA: El problema de la recogida y utilización racional de las basuras en las ciudades españolas de más de 100.000 habitantes debe abordarse con una amplia visión de conjunto, eliminando aquellos impedimentos, realmente pequeños, que se oponen secularmente a su resolución, y contando para ello, si fuese preciso, con el apoyo inmediato de los Organismos Oficiales competentes.

SEGUNDA: En atención a las posibilidades nacionales de producción de energía eléctrica, crecimiento de la población y aumentos previsibles en el consumo de dicha energía, es aconsejable encauzar la solución del citado problema hacia la incineración de tales desperdicios, con aprovechamiento del calor utilizable en centrales térmicas idóneas, capaces de producir energía eléctrica y alimentar redes de calefacción a distancia en todas aquellas ciudades en que ello sea posible. Sin olvidar que podrían producirse más de 220 millones de kilovatios-hora anualmente si se instala una potencia del orden de los 75.000 kw.

TERCERA: Un reducido grupo de técnicos es-

pecialistas que representen a una Mancomunidad de los Ayuntamientos principales, al Instituto Nacional de Industria y a Unidad Eléctrica, S. A., deberá estudiar con detalle toda la parte técnica del problema, y proponer, en definitiva, las soluciones más adecuadas y unificar al máximo todas las instalaciones y elementos de las mismas necesarios en las distintas ciudades finalmente designadas.

CUARTA: Las tres entidades citadas en el apartado anterior estudiarán, a su vez, una fórmula económica para la constitución del capital necesario, que, en principio, se evalúa en unos 600 millones de pesetas, y debe fijar, al propio tiempo, una forma de explotación de las futuras centrales que reporte los máximos beneficios al conjunto de la economía nacional, teniendo presente que los costes de producción que se estiman en principio oscilarán de 35 a 50 cts./kw-h., sin considerar en ellos las ventajas económicas que también pueden derivarse de la instalación de redes de calefacción a distancia en algunas de dichas ciudades.

QUINTA: Desarrollo inmediato de un programa unificado de construcción y montaje de las centrales térmicas correspondientes con la colaboración oficial necesaria, principalmente por parte del Ministerio de Industria y Comercio.

Madrid, abril, 1950.

Interviene a continuación de la lectura el Sr. Soler (D. José M.^a), quien dice que luego de estudiar el aprovechamiento de basuras por fermentación de las mismas, opina que lo más práctico es el sistema mixto, ya que precisamente aquellas basuras que proporcionan menos calorías en la incineración son las más aptas para el procedimiento de fermentación, y que para su aplicación práctica a una determinada población, hay que hacer un estudio detenido de los tipos de basuras recogidos, que suelen variar mucho de unas a otras poblaciones.

Con estas sugerencias son aprobadas las conclusiones.

La Presidencia concede nuevamente el uso de la palabra al Sr. Alvarez Sánchez, que da lectura a su otro trabajo siguiente núm. 57:

N.º 57. - Las altas presiones y temperaturas en las aplicaciones termodinámicas

Autor: D. SATURNINO ÁLVAREZ SÁNCHEZ

Ingeniero Industrial

MEMORIA RESUMEN

La técnica de las altas presiones y temperaturas, en lo que se refiere a las aplicaciones termodinámicas del vapor de agua, no ha tenido realmente gran divulgación en España, ni siquiera, al menos, teóricamente. Entretanto, en el extranjero desde hace escasamente veinte años, no sólo se han seguido muy de cerca los estudios relacionados con esta rama de la Ciencia, sino que se han multiplicado por doquier las instalaciones que utilizan el vapor de agua a muy altas presiones y temperaturas, con el consiguiente ahorro de combustibles en los correspondientes procesos térmicos. A título de ejemplo y para destacar claramente la importancia que en Estados Unidos, donde la producción de energía eléctrica es un 60 % térmica, el precio del kw-h. para usos domésticos, que era en 1925 de unos 80 cts., se redujo hasta 36 cts. en 1947, por influencia principalmente de las instalaciones termoeléctricas de alta presión utilizadas en las óptimas condiciones de trabajo. El consumo de combustible por kw-h. disminuyó en igual espacio de tiempo de 1.500

a 600 grs., con una influencia notable en el aprovechamiento de menudos de hulla y antracita en casi todos los Estados de la Unión.

En Europa casi todos los países de industria avanzada han utilizado también con buen éxito esta técnica, que poco a poco llega ya a otras muchas aplicaciones, como los transportes marítimos, los ferrocarriles e, incluso, la aviación.

De acuerdo con lo anterior he creído de interés para nuestra patria el fomentar los estudios teóricos, la investigación y el desarrollo industrial de este nuevo campo de la termodinámica, que tanta importancia puede tener para nosotros en tres ramas fundamentales de nuestra economía, como lo son la mejor utilización de nuestros combustibles, la producción de energía eléctrica y los transportes terrestres y marítimos.

El presente trabajo, que se ha orientado en este sentido, comprende los apartados que se citan a continuación, de los que después daremos un brevísimo extracto:

—Principios históricos de la Termodinámica. Su evolución.

—La técnica del vapor de agua a elevadas presiones y temperaturas.

—Las dificultades de esta técnica superadas por la investigación.

—La renovación de las térmicas, los ferrocarriles y los transportes marítimos.

—Conclusiones finales.

En el primero de estos capítulos se han recogido las principales evoluciones de los conceptos primordiales de la Termodinámica en sus comienzos, para que puedan servirnos de contraste con los principios hoy en vigor y nos animen, incluso, a proseguir en la investigación de aquellas zonas aún oscuras de esta ciencia, como, por ejemplo, las próximas al punto o estado crítico del vapor de agua, al ver más cerca las vacilaciones y los esfuerzos de aquellos hombres como Runford, Carnot, Clausius, Kelvin y, más tarde, Poincaré y Caratheodory, que tanto lucharon por esclarecer aquellos intrincados caminos.

El segundo apartado se detiene ya algo más en el estudio del rendimiento térmico de los ciclos de vapor de agua, que aumentan con la presión y temperatura hasta superar al del motor Diesel. Se ha llegado a establecer, por sucesivas consideraciones teóricas, confirmadas hoy día en la industria, que el calor necesario para la producción de vapor saturado a muy alta presión no es mayor que el preciso para obtenerlo a baja temperatura, y que la cantidad de combustible utilizado, que se transforma en calor, y que es necesario transmitir al agua para transformarla en vapor recalentado, decrece siempre cuando la presión aumenta. Se han deducido, por último, diversas consideraciones de orden económico sobre las instalaciones de alta presión, en centrales térmicas principalmente, que inducen favorablemente a su empleo, pues, incluso, llegan a ser más económicas que las de baja presión en determinados casos.

El capítulo dedicado a la investigación en Estados Unidos ocupa el tercer lugar, es el más amplio, y en él se detallan algunos aspectos de la misma, recogidos en mis viajes a Estados Unidos en los veranos de 1946 y 1947, en relación con la Universidad de Perdue Lafayette (Indiana), donde está instalado uno de los principales laboratorios para el estudio de la altas presiones y temperaturas. Aparte de la descripción de di-

cho laboratorio, se dan diversos datos y referencias acerca del comportamiento de generadores de vapor de alta presión, estudios acerca del volumen y calor específico, entalpia, viscosidad y conductibilidad térmica del vapor de agua también a muy elevadas presiones y temperaturas.

Se analizan después diversos ensayos sobre materias primas utilizadas en estos tipos de calderas, que han sido uno de los más graves problemas que hubo que vencer para lograr el empleo normal de presiones superiores a los 150 Kg/cm² hasta llegar a la presión crítica inclusive y temperaturas de 565° C para el vapor recalentado, soslayando infinidad de dificultades, como, por ejemplo, la depuración del agua de alimentación, que han requerido estudios y experiencias muy complejas. Se han citado especialmente diversos datos sobre corrosión de tubos de acero especiales, por creerlo de primordial interés para el desarrollo de estas instalaciones y como muestra del ingenio desplegado en muchos de ellos por diversos investigadores, como el profesor Solberg, que considero habrán de influir en nosotros como acicate para futuros trabajos en estas modernas técnicas.

En el cuarto apartado se han descrito algunas de las centrales térmicas que visité en Norteamérica; estudiando con algún detalle las ventajas derivadas de las altas presiones al adaptar tanto las antiguas instalaciones desde las 15 hasta las 115 atmósferas, conservando las antiguas turbinas que trabajan con el vapor de escape de las nuevas a mayor presión, así como las de construcción reciente, orientadas absolutamente hacia presiones de trabajo que oscilan frecuentemente entre las 65 y 125 atmósferas con temperaturas entre 500 y 565° C para el vapor recalentado. Merece destacarse especialmente el grupo de centrales de la «Consolidated Edison» en Nueva York, con una potencia térmica instalada superior a los 2.500.000 kw, con calderas, como las de la «Sherman Creek», las mayores del mundo y capaces de vaporizar 454 Tm/h. Las turbinas de mayor potencia en un solo eje han sido del orden de los 150.000 kw.

En el terreno económico se han estudiado también sus ventajas, tanto en lo que se refiere a sus gastos de instalación, sensiblemente iguales hoy día a las de baja presión, como en lo referente a la explotación de las mismas, y se dan cifras sobre precios de venta como la destacada al principio de este resumen.

Para poder imaginarnos lo que podría representar en España la renovación de nuestras térmicas, los ferrocarriles y los transportes marítimos, utilizando las altas presiones, se han recogido una serie de datos relativos a las mismas para el año 1946, llegándose a establecer que, como mínimo, podríamos economizar globalmente un 6 % de nuestra producción total de carbón, lo que equivale a 720.0000 Tm. anuales, sin tener en cuenta las pequeñas instalaciones, con las cuales, también renovadas, podría seguramente alcanzarse un ahorro total por año del orden del millón de toneladas de combustibles sólidos.

Por último, en las conclusiones finales se ha esbozado un posible plan para desarrollar en España en relación con esta técnica, que extractamos a continuación:

—Nombramiento de una «Comisión para el estudio de las aplicaciones del vapor a muy alta presión».

—Preparación de estas técnicas, con la intervención de diversas casas constructoras españolas y organismos oficiales de enseñanza superior.

—Instalación en España de un laboratorio de vapor a muy alta presión y temperatura.

—Colaboración con los investigadores de otros países y asistencia a Congresos internacionales.

—Programa de renovación de nuestras térmicas y medios de transporte, con el estudio de los problemas económicos que del mismo puedan derivarse.

PRINCIPIOS HISTÓRICOS DE LA TERMODINÁMICA.—SU EVOLUCIÓN

Si nos detenemos a meditar sobre aquellos conceptos que la primitiva Ciencia dió a conocer acerca de la teoría física del calor y examinamos después las actuales aplicaciones y avances de la moderna Termodinámica en los países más industrializados, advertiremos claramente unas diferencias tan notables, tanto en la teoría como en la práctica, que nos inducen, antes de entrar en la exposición detallada de algunos aspectos de esta moderna técnica, a repasar la evolución histórica de sus bases o puntos de partida para que nos sirvan a modo de ejemplo, y también de contraste, para comprender con más fuerza la renovación actual de la Termodinámica y nos animen a ahondar aún más en el estudio de ella, tanto para procurar ponernos al día en cuanto a sus nuevos procedi-

mientos como para proseguir investigando con ahínco sobre aquellos puntos aún confusos que resta por desentrañar en ella, y que guardan todavía ese sentido un tanto misterioso que ha oscurecido durante mucho tiempo esta rama de la Física.

Los tres primeros y anticuados conceptos sobre el calor, es decir:

- a) El calor como substancia sin masa, contenida en un medio material y capaz de conservarse en todos los procesos.
- b) La cantidad de calor determinada por el estado de un sistema y considerada como una propiedad del mismo.
- c) El aumento en la calidad de calor de un sistema considerado por lo general equivalente a una mayor temperatura del mismo, para un cierto equilibrio del conjunto,

que fueron base de la antigua teoría del calor, recibieron ya sus primeros ataques por parte de Runford y Davy al finalizar el siglo XVIII. Aunque realmente hasta 1824 no se dió en verdad ningún paso decisivo en este sentido, es decir, hasta que Carnot anunció sus tres conceptos de: ciclo, reversibilidad y ciclo de rendimiento máximo. Este último, al establecer que una máquina de ciclo reversible sería la más eficiente, puede en realidad equipararse con el que había de ser más tarde el segundo principio de la Termodinámica, pero trató de probar este aserto con referencia a otras bases que él consideraba fundamentales, como la conservación del fluido calórico y la imposibilidad del ciclo de una máquina capaz de producir trabajo sin dar lugar a otros efectos (esta última, equiparable al «perpetuum mobile» de primera especie), lo cual, como era lógico, resultaba imposible. Y tuvo que ser Clausius, una veintena de años más tarde, el que señalara la originalidad de Carnot, tomándolo en sí mismo como base de futuros conceptos termodinámicos.

Hacia mediados del pasado siglo se dieron las normas fundamentales para llevar la Termodinámica al terreno de lo cuantitativo, y Joule realizó una serie de investigaciones que fueron notables, tanto por su concepción como por la inigualada pericia de su ejecución, pero sin llegar a rechazar completamente las antiguas ideas sobre el calor, por lo cual no pudo generalizar definitivamente sus observaciones. También por igual tiempo, Mayer estableció una relación no muy

convinciente entre el trabajo y el calor, mediante dos procesos a volumen y a presión constante, utilizando los valores del calor específico de un gas, obtenidos por medición.

Helmholtz, en 1847, aceptó ya las relaciones existentes entre el trabajo y los diferentes cambios de estado, establecidas por Joule, pero intentando racionalizarlas con referencia a un sistema de partículas independientes sometidas a las leyes newtonianas del movimiento. Por ello, hay que considerar a Helmholtz como el primero en establecer la llamada «Mecánica del Calor», que pudo ser dirigida hasta los tiempos modernos a través de Maxwell y Clausius, contribuyendo, asimismo, al desarrollo de la teoría cinética de los gases, la cual, sin embargo, había de ser uno de los motivos principales de confusión en la génesis de la Termodinámica. A pesar de este nuevo avance, no se pudieron dar definiciones sencillas acerca del «calor», vocablo que se empleaba bajo distintas acepciones, y se utilizaban también con carácter muy confuso los términos «movimiento» y «trabajo». Ello, no obstante su punto de vista, puede considerarse como típico de su época al querer interpretar los fenómenos naturales siempre a través de la Mecánica de Newton.

Tan sólo dos años después, Kelvin señaló el conflicto existente entre los argumentos de Carnot y las conclusiones establecidas por Joule, tratando de resolver este dilema mediante distintos experimentos, si bien fué Clausius en 1850 el que reconcilió el Principio de Carnot con los trabajos de Joule y Mayer, fijando claramente la idea de que dicho principio había que considerarlo como una ley independiente que no requería una demostración previa con respecto a otras bases. Fué, quizá, el gran motivo de toda esta confusión la insistencia en la racionalización dinámica que inició Helmholtz. Así, por ejemplo, al describir la ecuación:

$$dQ = dU + A \, dT$$

distinguió claramente dos conceptos distintos: el de calor y el de energía interna; pero, sin embargo, al subdividir U en dos partes, que no podían ser medidas, y aplicar indistintamente la palabra «calor» a los términos Q y U dió lugar a no poca confusión. Fijó también claramente la proporcionalidad entre el calor y el trabajo de un ciclo, a lo cual llegó con sus razonamientos por un hecho meramente casual.

La importancia de este último concepto fué subrayada expresamente por Kelvin en 1851, reconociendo las teorías de Carnot con la introducción del «ciclo» en su razonamiento termodinámico. Acreditó, asimismo, a Clausius con el segundo principio de la Termodinámica, e ideó una escala de temperaturas partiendo de la misma, pero a pesar de ello su concepto sobre el calor no llegó a ser lo suficientemente claro, por considerarlo aún como «una forma del movimiento».

Por su parte Clausius, en 1865, estableció la subdivisión del término U en otras dos partes, «el calor libre» y «el calor consumido y correspondiente al calor interno». También discriminó entre los conceptos calor y trabajo almacenado o potencial, pero, como siempre, dejó algunas ideas oscuras, o desviadas de la realidad, que como tales fueron analizadas tres años después por Maxwell, que clamó por una mayor claridad de expresión y que él mismo, sin embargo, había de olvidar poco después al decir que: «el calor puede pasar de un cuerpo a otro de la misma forma que el agua puede cambiarse de vasija y puede ser mantenido en un cuerpo indefinidamente.»

Willard Gibbs fué el que tuvo probablemente en su tiempo una idea más lograda de todos los conceptos termodinámicos, y definía claramente en 1873 el «trabajo» realizado por un sistema, pero sin llegar a ideas precisas sobre el calor y la energía interna.

La íntima relación existente entre el concepto de reversibilidad y el segundo principio fué demostrado por Planck en 1897, el cual lo definió como la imposibilidad de existencia de un cierto ciclo capaz de producir un trabajo positivo que recibe calor de una sola fuente calorífica, y que coincide con otra muy semejante de Kelvin, equivalente a lo que hoy llamamos también transformaciones monoterms. Planck hizo ver con claridad que nuestras observaciones con respecto a la irreversibilidad de muchos procesos de la Naturaleza son imágenes directas de esta definición del segundo principio.

El establecimiento concreto del primer principio durante el siglo XIX tuvo mayores dificultades, pues se oponían a ello los dos obstáculos fundamentales ya sabidos. El primero se derivaba del concepto aún erróneo del calor, considerándolo como una especie de propiedad de los cuerpos, más relacionada con el concepto de trabajo que con el de energía interna. El segundo procedía de la teoría mecánica del calor, lo que

implicaba el considerar la energía interna como una propiedad y era una consecuencia de las leyes del movimiento newtoniano.

Todas las anteriores dificultades fueron finalmente vencidas por Poincaré en 1908, quien fundó por primera vez una estructura científica consistente y basada en elementos susceptibles de medición, que culminó con el establecimiento del primer principio de la Termodinámica; la definición más completa de la temperatura, del calor y del axioma, llamado también Ley de Zeroth.

Un año más tarde, Caratheodory dió a conocer otra definición del primer principio, distinta de la de Poincaré, pero, asimismo, completa y rigurosa tomando como bases el trabajo y las llamadas «paredes adiabáticas», es decir, la relación existente entre el incremento de trabajo en un sistema cuando está protegido por dichas «paredes adiabáticas». En lo que se refiere al segundo principio, partió del punto más radical de este proceso histórico de la Termodinámica, que pudo expresar en la forma siguiente: «En las proximidades de un determinado estado inicial hay ciertos estados que no pueden alcanzarse por un proceso adiabático (reversible).» La expresión reversible no fué realmente citada por Caratheodory, pero quedaba sobreentendida al desarrollar las consecuencias derivadas de su definición. Su propósito fué establecer cada

principio de la manera idónea, de forma que los diversos razonamientos inherentes al mismo se pudieran escribir en forma matemática, en contraste con Poincaré, que se basaba en razonamientos físicos con expresiones de auténtica lógica verbal.

Como se observa por el anterior resumen, en el que se ha tratado de mostrar cómo han evolucionado las ideas esenciales de la Termodinámica, ésta cuenta desde sus comienzos con más de siglo y medio de existencia, pero han sido realmente poco más de los últimos cincuenta años los que han fijado y establecido por fin las bases sólidas de esta moderna ciencia, que en sus aplicaciones industriales ha conseguido también, sólo en los últimos quince años, asegurar definitivamente la técnica moderna de hiperpresión, traspasando los límites de las bajas y medias presiones, de las 15 y 25 atmósferas, hasta las instalaciones a 125-150 atmósferas e incluso a la presión crítica, con temperaturas del vapor recalentado que han alcanzado ya los 565° C y cuyo campo queda hoy abierto tanto en lo que a la investigación como a su realización práctica se refiere en muchos aspectos de la industria y a los que nos vamos a referir en este trabajo, tratando de interesar no sólo a los técnicos especialistas, sino a todos aquellos que se preocupan por los recientes avances de la industria en los tiempos modernos.

ANEXO NÚM. 1

RENDIMIENTO MÁXIMO DE LOS CICLOS DE VAPOR CON EL EMPLEO DE ALTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS

Teóricamente, podría justificarse, en principio, el empleo de las altas presiones partiendo inicialmente de algunas consideraciones que se deducen, en definitiva, del principio de Carnot, que transcribo a continuación:

«La potencia motriz del calor es independiente de los agentes que intervienen para obtenerla, y queda determinada cuantitativamente por la temperatura de los cuerpos entre los cuales se realiza, en último extremo, el transporte calorífico.»

Por lo tanto, el trabajo producido será tanto mayor cuanto lo sea la diferencia entre las temperatu-

ras extremas y mayor será también la caída cinética de la presión como consecuencia de su mayor valor inicial.

Por ejemplo, si los álabes de una turbina de vapor reciben Q_1 calorías por hora a una temperatura de T_1 °C, al expansionarse el vapor recalentado se obtienen en el condensador Q_2 calorías por hora a la temperatura de T_2 °C, expresándose el trabajo producido por

$$A \times T = Q_1 - Q_2$$

Representando este ciclo de Carnot según el diagrama entrópico indicado en la figura 1, podemos observar que para aumentar la diferencia entre Q_1 (equivalente al área $\alpha A_2 B_2 \beta$) y Q_2 (área $\alpha A_1 B_1 \beta$) es preciso separar entre sí las isotérmicas $A_1 B_1$ y

$A_2 B_2$, con la cual el área $A_1 A_2 B_1 B_2$ habrá aumentado, y por igual razón las calorías transformadas en trabajo.

O sea, que si se aumenta la longitud de la adiabat-

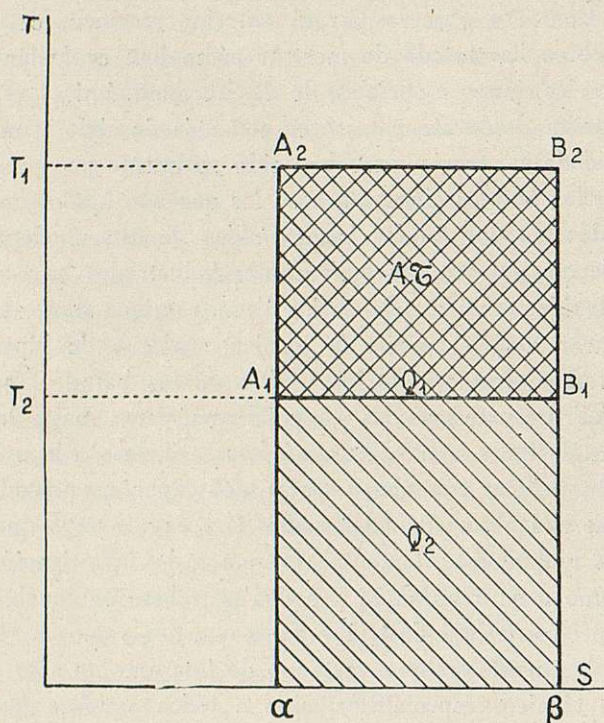


Fig. 1.- Diagrama entrópico del Ciclo de Carnot

tica vertical del ciclo, crecerá el valor de Q_1 y como consecuencia el rendimiento del mismo, saber:

$$\rho = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Para que Q_1 aumente es preciso también un mayor valor de la temperatura T_1 , puesto que son casi directamente proporcionales ambas magnitudes; es decir, que dicho rendimiento es tanto más elevado cuanto mayor sea la diferencia entre las mencionadas temperaturas T_1 y T_2 .

$$\rho = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

De igual forma aumentará el trabajo producido

$$T = \int T_1 ds - \int T_2 ds = \int (T_1 - T_2) ds$$

Si por el contrario hiciésemos aumentar el lado horizontal del ciclo, tratando igualmente de obtener una mayor superficie del mismo, haríamos crecer simultáneamente las magnitudes Q_1 y Q_2 y con ello los valores de las entropías correspondientes:

$$S_1 = \int \frac{dQ_1}{T_1} \quad \text{y} \quad S_2 = \int \frac{dQ_2}{T_2}$$

pero, en cambio, el rendimiento del ciclo permanecería invariable.

Luego, en definitiva, de lo que se trata es de obtener una separación máxima entre las isotérmicas del ciclo correspondiente. Ahora bien, la ley de Regnault (figura 2) nos indica que una mayor temperatura ini-

$$p = f(t)$$

cial ha de lograrse precisamente a costa de una elevación de la presión, cuyas variaciones son de carácter exponencial, de manera que, al principio, para una pequeña modificación de ella la temperatura experimenta un notable aumento, e inversamente, para valores elevados de la presión la temperatura crece ya muy lentamente.

Todo lo anterior puede expresarse con mayor cla-

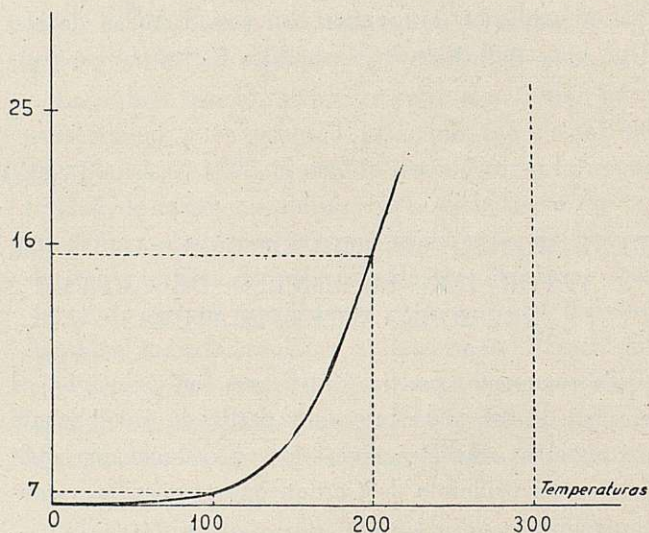


Fig. 2.- Representación gráfica de la ley de Regnault

ridad representando dichas variaciones en un ciclo de Rankine, en el que se han trazado las líneas correspondiente a dos presiones distintas (fig. 3). Uno de ellos está limitado por la temperatura T a la presión

de 14 Kg/cm², comprendiendo el área A B C D A; el otro a la presión de 100 Kg/cm² y temperatura T₁ abarca la superficie A B' C' D' A. Como se observa, este segundo ciclo difiere del primero por la diferencia entre las áreas B B' C' C d B y D' d C D D', que es positiva, viniendo incrementado el trabajo obtenido, como recuperación de calor, por la diferencia entre las superficies citadas. De igual forma, el calor total del vapor saturado viene aumentado en el área B B' C' d B y disminuido por la $\delta D' d C D \delta \delta'$, subtendida hasta el eje entrópico por la línea su-

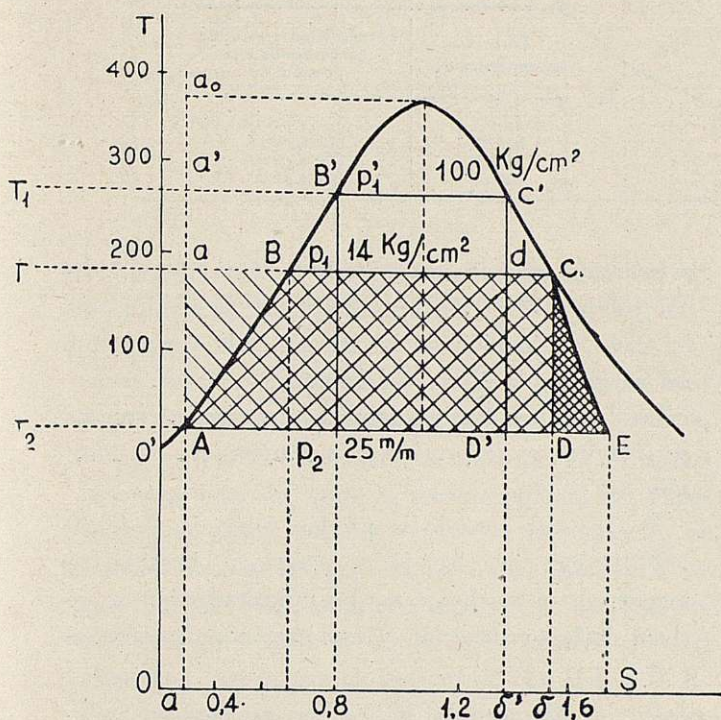


Fig. 3.- Diagrama entrópico del ciclo de Rankine.

perior d C del área rectangular suprimida. Comprobándose teóricamente el interés de la alta presión, que hace aumentar la cantidad de calor recuperado y, por lo tanto, el rendimiento del ciclo.

En muchos experimentos se ha tratado de fijar cuál era el valor óptimo de la presión para obtener el máximo rendimiento, pero no hay que olvidar que en la práctica el beneficio real obtenido no depende tan sólo de las características del ciclo de alta presión que se elija, sino también de las exigencias que imponga en cada caso particular el funcionamiento y utilización

de la turbina, de conformidad con las necesidades del conjunto de las instalaciones a que aquélla queda íntimamente ligada. Así, por ejemplo, podemos citar diferentes tipos de turbogeneradores proyectados para usos distintos: de condensación pura; con una o varias tomas intermedias de vapor para usos industriales; a contrapresión; y superpuestas a otras de baja presión; de uno o de dos cuerpos, etc.

Si la presión sigue en aumento, al mismo tiempo que crece la diferencia entre las temperaturas extremas se produce un estrechamiento del ciclo en su parte superior, que tiende a tomar la forma triangular para el valor de la presión crítica, disminuyendo con ello en parte el rendimiento del ciclo si se le compara con el de Carnot, de forma que la curva representativa presentaría un punto de inflexión hacia los 100 Kg/cm². Con el ciclo de Rankine el máximo rendimiento se logra para otra presión inicial, obtenida trazando las distintas isobaras del diagrama entrópico y comprobando por la planimetría de las correspondientes áreas, hasta llegar a la presión crítica, a la cual corresponde el valor máximo. Así se ha demostrado que el rendimiento pasa por un valor máximo hacia los 120-130 Kg/cm², y que disminuye después ligeramente, incluso para la presión crítica.

Los inconvenientes que se derivan de la humedad contenida en el vapor saturado bajo forma de pequeñas gotas, con diámetros del orden de dos a tres diezmilésimas de milímetro, que darían origen a erosiones en las turbinas, indican la conveniencia de separar la fase líquida de la de vapor, mediante un recalentamiento de éste. Pero entonces la ley

$$p = f(t)$$

deja de ser exacta y la presión no depende tan sólo de la temperatura, sino también del volumen específico del vapor.

$$p = F(t, v)$$

Observando el diagrama entrópico de la figura 4 puede comprobarse que el recalentamiento del vapor equivale a un aumento de la cantidad de calor, representada por el área E' C D E E', proporcional a la longitud l, al calor específico C', que es constante, y a la temperatura de recalentamiento, adquiriendo una cantidad de calorías.

$$q = \int C' dT$$

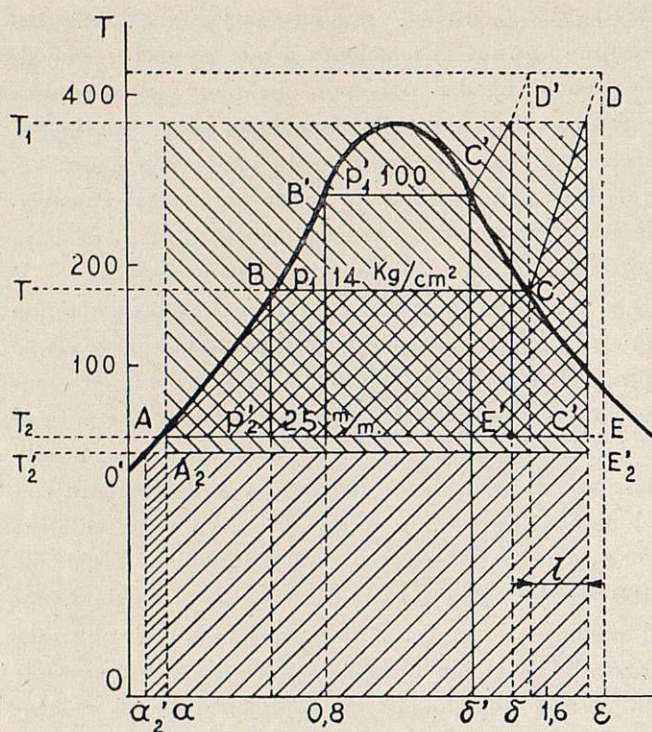


Fig. 4. - Diagrama entrópico con recalentamiento del vapor.

Queda limitada en principio la temperatura máxima de recalentamiento por las propiedades físicas de los metales que constituyen el recalentamiento de la caldera y las partes internas de la turbina en la zona de alta presión.

Como consecuencia del recalentamiento del vapor, se observa en el diagrama de Rankine un aumento del rendimiento

$$\rho = f(p, t)$$

que depende de dos variables: la presión y la temperatura del vapor recalentado. Se ha podido demostrar teóricamente que, para cada par de valores de dichas variables existe un rendimiento máximo.

Así, por ejemplo, veamos algunos casos en el siguiente cuadro:

Para la temperatura de	El rendimiento máximo corresponde a la presión de
325°C	120 Kg/cm²
375°C	125 Kg/cm²
400°C	180 Kg/cm²
500°C	225 Kg/cm²

Los diagramas indicados en la figura 5, establecidos por Rauber, muestran las variaciones de rendimiento del ciclo en función de la presión y la temperatura del vapor en dos formas diferentes:

Puede decirse que, en definitiva, *el rendimiento crece siempre con la presión y la temperatura de admisión del vapor.*

No obstante, cuando la presión sobrepasa los 120-130 Kg/cm², los beneficios prácticos obtenidos no compensan en muchos casos las dificultades que se derivan de la construcción y explotación de los elemen-

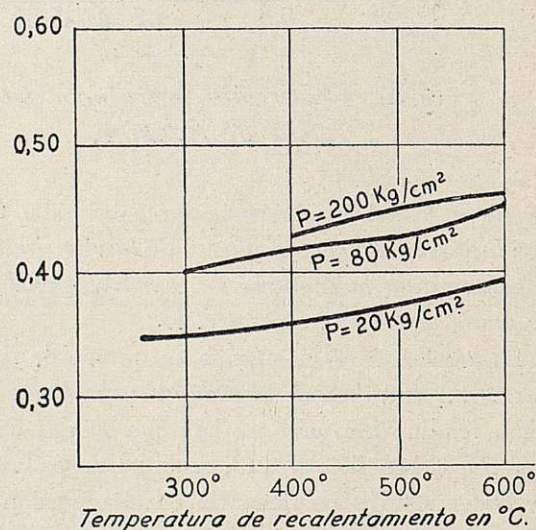
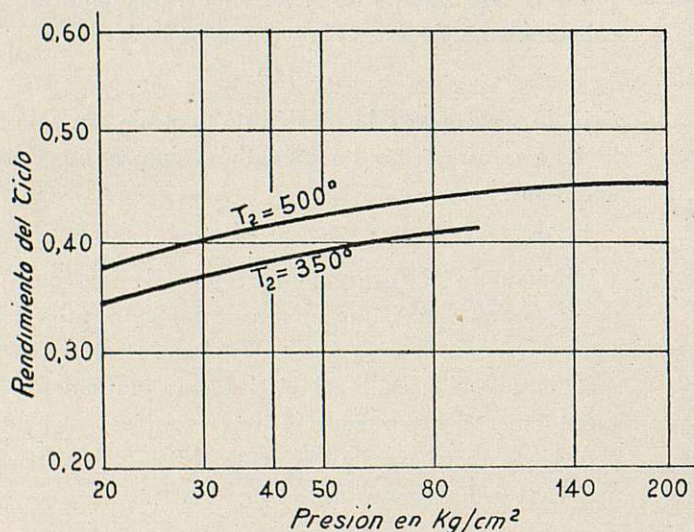


Fig. 5. - Rendimiento del ciclo de vapor en función de la presión y temperatura.

tos necesarios. No resulta interesante el empleo de presiones mayores en muchos casos, a excepción de los

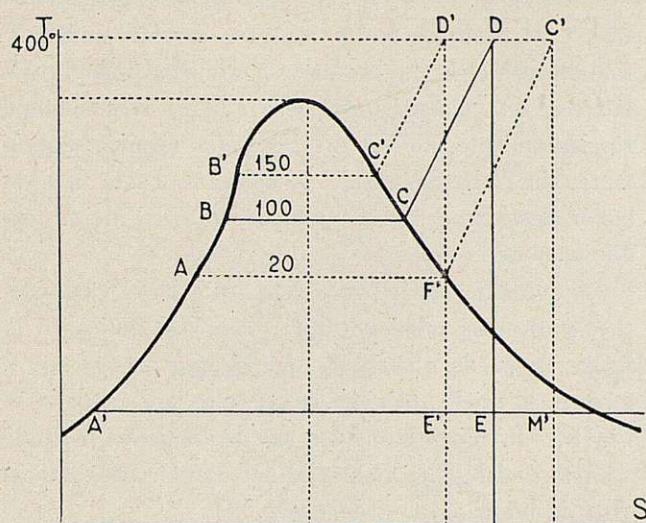


Fig. 6.- Desplazamiento de la expansión adiabática por la elevación de la isotérmica después del ciclo.

ciclos superiores combinados y para potencias muy grandes propias de verdaderas supercentrales térmicas.

Por su parte, el aumento de la potencia calorífica repercute también sobre el recalentamiento del vapor y, por lo tanto, sobre el ciclo correspondiente. La forma típica de la curva de saturación nos hace ver que si se eleva la isotérmica superior, se desplaza correlativamente hacia la izquierda la adiabática de la expansión. Así ocurre en la figura 6 con D E y D' E'. Por consiguiente, al final de la expansión se obtienen títulos para el vapor cada vez menores y, como consecuencia, un peor rendimiento, debido a la heterogeneidad de la vena flúida, al propio tiempo que aumenta la erosión sobre los álabes de la turbina.

Con objeto de evitar este posible exceso de humedad deben reforzarse el grado de recalentamiento y el vapor de la presión, pero de forma que la expansión no llegue a ser completa y que la perpendicular correspondiente en el diagrama entrópico no llegue a encontrar a la curva de saturación.

A su vez, el aumento de la temperatura del vapor recalentado complica el problema desde el punto de vista metalúrgico, como consecuencia de las características físicas de los metales en caliente, y puede decirse que actualmente no suelen sobrepasarse en la práctica los

535° C. Pues surge también otra dificultad, como consecuencia de la descomposición del vapor en sus dos elementos, oxígeno e hidrógeno, a temperaturas comprendidas entre los 500 y 750° C, de manera que el hidrógeno libre reduce la película formada que protege al metal, contribuyendo así a disminuir su duración. Según la opinión de C. H. Fellow, de Detroit, la temperatura límite para producción del hidrógeno es de 550° C, y ha comprobado Muzinger una producción permanente hacia los 600° C y de modo que no es recomendable la utilización de temperaturas superiores a los 550° C, al menos con los tubos de acero de fabricación normal utilizados para altas presiones.

Con objeto de no elevar excesivamente la temperatura del vapor se ha previsto también el empleo de un cierto recalentamiento durante el período de expansión. Es decir, que después de la primera etapa de expansión del vapor a alta presión en el cuerpo de la turbina, vuelve a ser recalentado de nuevo antes de ser utilizado en el cuerpo o turbina de baja presión, sin dejarle alcanzar la zona de saturación.

Otra gran ventaja de la alta presión consiste en su

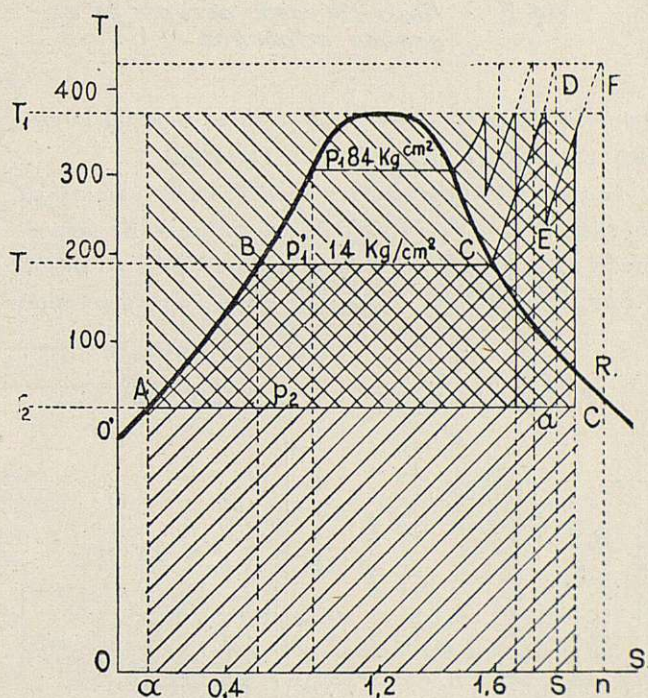


Fig. 7 - Ciclo de varios recalentamientos del vapor

fácil adaptabilidad a toda clase de combinaciones con los diversos ciclos. Así, por ejemplo, veamos el ci-

clo representado en la figura 7, en el que se han indicado varios recalentamientos con los que puede obtenerse un beneficio teórico verdaderamente muy reducido, pero con la inmensa ventaja de obtener un va-

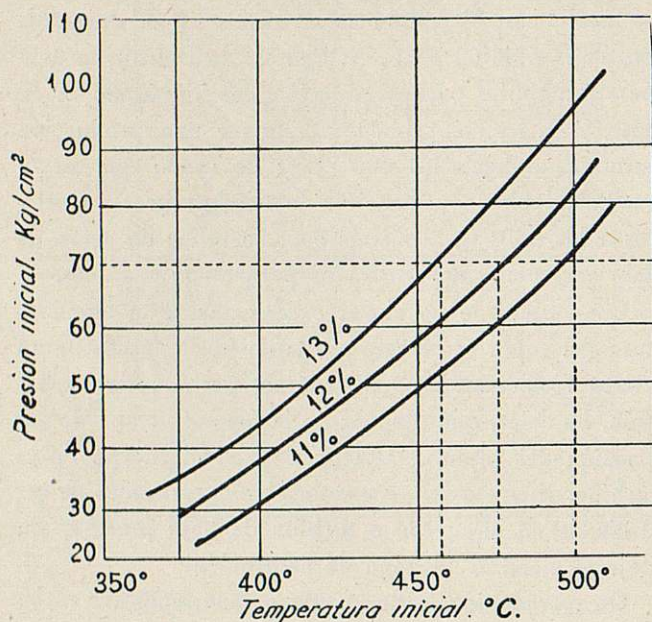


Fig. 8 - Título del vapor durante la expansión adiabática.

por completamente seco, lo que tiene especial interés con presiones de servicio muy elevadas.

La proporción de agua admisible en la turbina en la última etapa de expansión del vapor se ha demostrado en la práctica que como máximo debe no sobrepasar del 11 al 12 %. Según Burge, que determinó

las curvas de la figura 8, si la presión es muy alta, el grado de humedad al final de la expansión es también elevado. Para 70 Kg/cm² y temperatura de 450° C el título es de 13 % y, en cambio, a 500° C sólo alcanza el 11 %. Se observa humedad todavía alta aún con esta temperatura, pero aunque este segundo recalentamiento no da un beneficio térmico importante, sin embargo, puede considerarse como una solución deseable desde el punto de vista del mejor rendimiento de la turbina.

Comparando con el ciclo de Carnot otros varios ciclos a diversas presiones, tal y como se indica en la figura 9, puede observarse que el que más se aproxima al ciclo teórico es el que corresponde a 130 Kg/cm² de presión con recalentamiento múltiple y en el cual los diagramas se han establecido para el caso de un kilogramo de vapor.

Resulta de lo anterior, que para una cierta presión el recalentamiento del vapor aumenta el rendimiento, pero siempre que el beneficio obtenido sea superior al del ciclo sin recalentamiento. Por ejemplo, considere mos un ciclo a la presión de 20 Kg/cm² y un grado de vacío de 0,04 Kg/cm² (figura 10) al que se le somete a un recalentamiento del vapor hasta la temperatura de 360° C. El rendimiento correspondiente a este recalentamiento es superior al de la zona de vapor saturado y, por lo tanto, el rendimiento global del ciclo habrá mejorado. Veamos otro caso, éste a la presión de 130 Kg/cm², 500° C e igual vacío, y agreguémosle un recalentamiento a 360° C a la presión de 20 Kg/cm²; como el rendimiento parcial de éste es

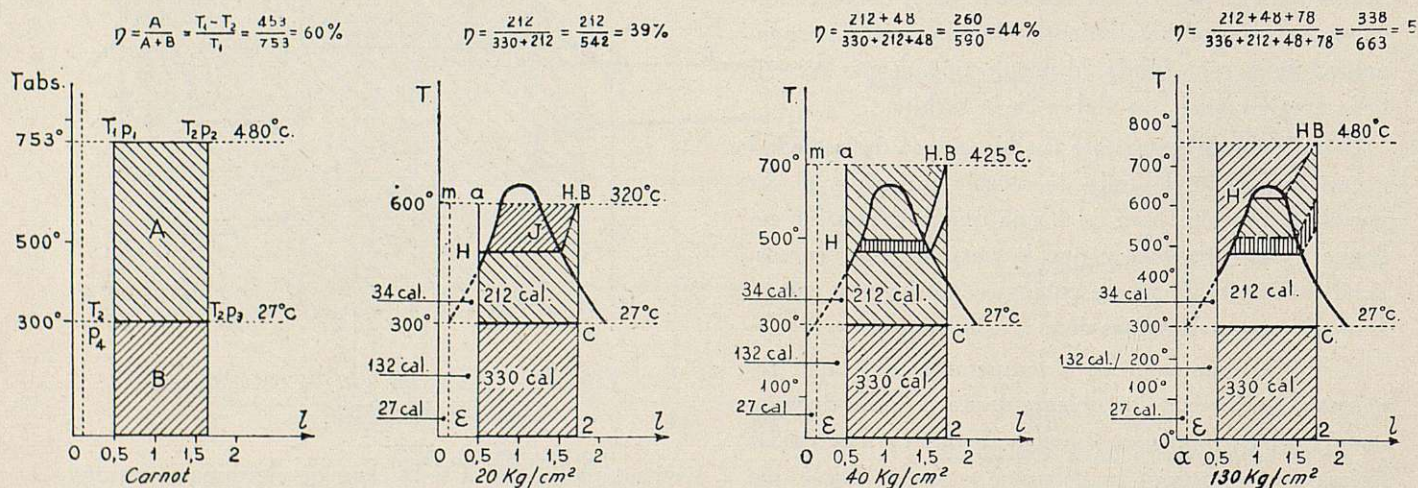


Fig. 9.- Comparación de un ciclo de Carnot y otros ciclos teóricos a presiones distintas

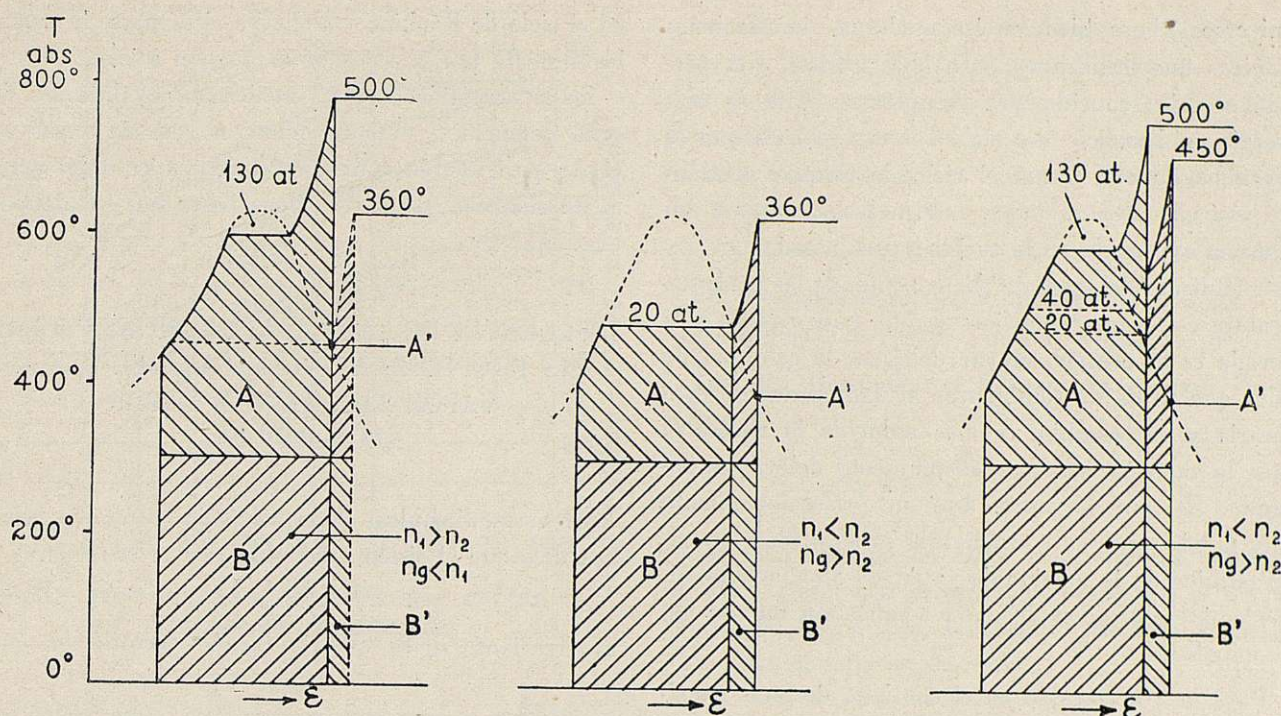


Fig. 10.- Variación del rendimiento teórico de un ciclo al someterle a un cierto recalentamiento

menor que el del ciclo primitivo, el rendimiento total del conjunto resulta en este caso inferior al del ciclo inicial. Por último, si a este mismo ejemplo añadimos un recalentamiento a la presión de 40 K/cm² hasta la temperatura de 450° C, el rendimiento de este suplemento térmico es mayor al del ciclo considerado y, como consecuencia, el rendimiento total habrá mejorado. Este fenómeno que acabamos de exponer a veces desconocido de los especialistas y les conduce a errores que pueden ser importantes.

El estudio del diagrama entrópico nos hace ver, lo mismo en el caso de un motor de explosión, de combustión interna o que en una turbina de vapor, que la mayor parte de la energía térmica se pierde en el escape o en el condensador, beneficiando siempre la entropía general del

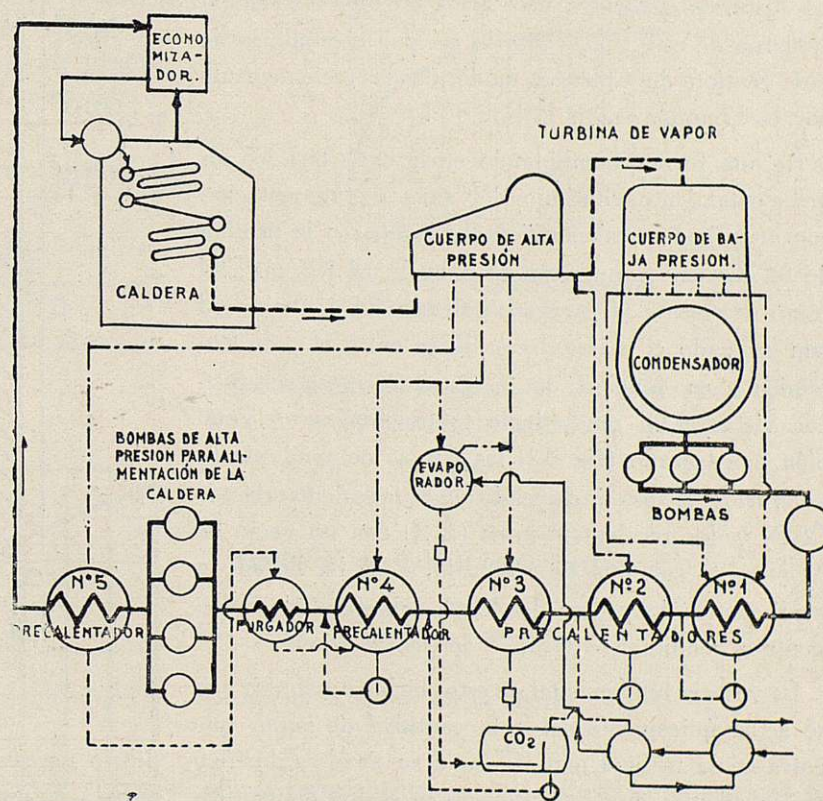


Fig. 11. - ESQUEMA DE LA DISPOSICIÓN DEL GRUPO DE 147.000 KW. ALTA PRESION DE LA FISK STATION DE CHICAGO.

Universo. Ahora bien, en las modernas instalaciones térmicas que utilizan vapor a alta presión, esta pérdida es más reducida, por recuperarse parte de esta energía en beneficio del ciclo correspondiente que se aproxima de esta forma al ciclo de Carnot, utilizando para ello algunas tomas intermedias de vapor durante su expansión en la turbina para atender al precalentamiento del agua de alimentación de las calderas. Ventaja ésta sumamente interesante, pues cuanto más elevada es la presión, mayor debe ser la cantidad de calor que se ha de suministrar al agua antes de evaporarla y, en cambio, es más reducida la necesaria para la vaporización y recalentamiento del vapor obtenido. Es, por lo tanto, éste un perfeccionamiento muy notable que hace resaltar la superioridad del ciclo térmico de la turbina de vapor en alta presión sobre los motores de explosión y combustión interna antes citados.

Para mayor claridad en el conjunto de estas consideraciones del ciclo de alta presión, aplicadas al caso frecuente de una central termoeléctrica, representamos en la figura 11 un esquema de la disposición de los distintos elementos necesarios en una instalación moderna de este tipo, como lo es, por ejemplo, la de Fisk Station de Chicago, modernizada recientemente por la Commonwealth Edison Co.

De esta forma, combinando en el ciclo térmico un precalentamiento continuo del agua de alimentación con un primer recalentamiento del vapor a la presión de 84 Kg/cm² y un segundo a la de 14 Kg/cm², tal como representa la figura 12, Hirschfeld y Ellenwood han señalado el máximo equilibrio entre el precalentamiento en función de la presión y temperatura con vistas a un rendimiento térmico máximo. También han trazado (fig. 13) las curvas de rendimiento de varios ciclos, incluyendo dos precalentamientos (2 P) y dos recalentamientos (2 R) con un vacío de 25 mm. de columna de mercurio, y se ha llegado a rendimientos del orden del 45 %, sobrepasando largamente el rendimiento térmico del motor Diesel.

La ventaja fundamental de estos ciclos estriba en que se actúa únicamente sobre la cantidad de vapor que entra en la turbina, sin afectar a su estado calorífico y que, además, el vapor utilizado en el precalentamiento del agua se condensa completamente; la proporción de agua en las etapas de baja presión es la misma que

en el ciclo de Rankine y se limita el número de precalentamiento por el valor de la presión inicial.

En la actualidad, en las modernas instalaciones de gran potencia el número más frecuente de tomas de vapor, para atender a dicho precalentamiento del agua, es de cuatro a cinco y se llega hasta seis en algunas ocasiones.

INFLUENCIA DE LAS ALTAS PRESIONES SOBRE LAS PROPIEDADES TÉRMICAS DEL AGUA, VAPOR SATURADO Y VAPOR RECALENTADO

La Termodinámica, en la conocida ley de las fases, nos dice que el sistema definido por la ecuación

$$f(p, v, t) = 0$$

es trivariante, o sea, que son tres los factores de aquí-

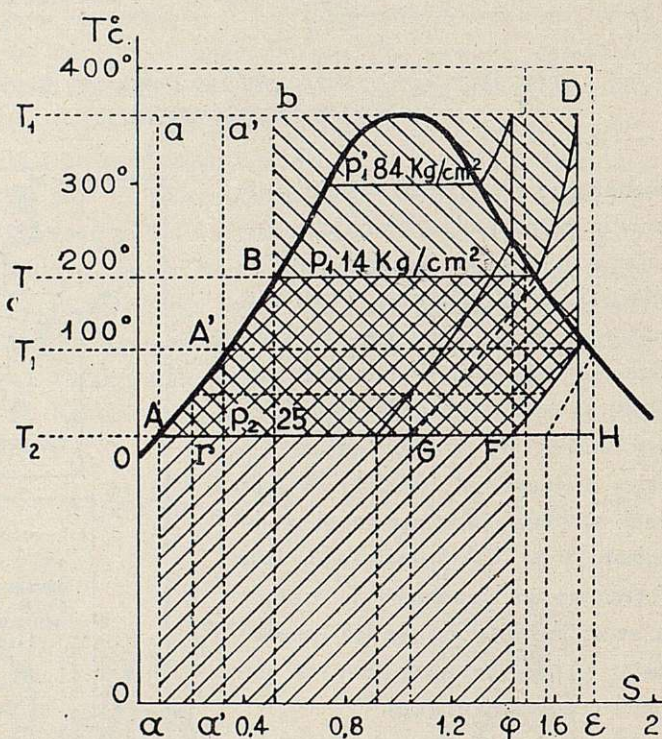


Fig. 12 - Diagrama entropico con precalentamiento del agua y dos recalentamientos del vapor.

librio necesarios para la determinación completa del estado de un fluido.

En cada caso determinado, a una cierta presión corresponden un volumen y una temperatura, y a ésta

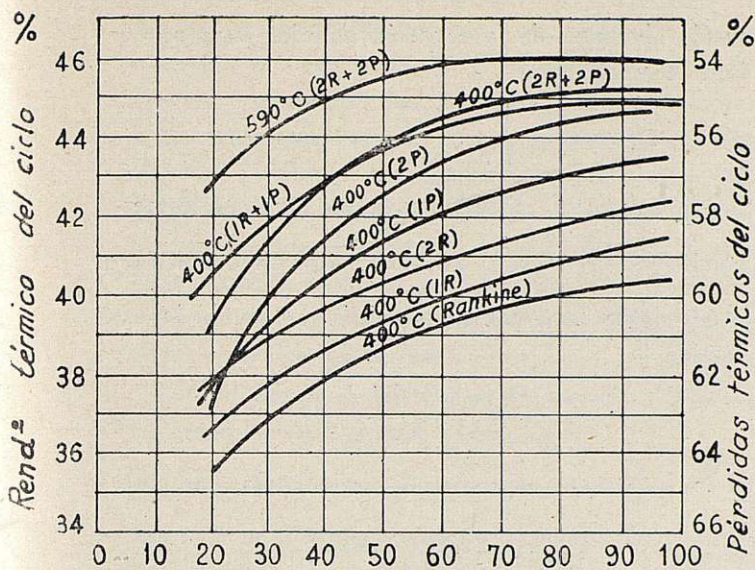


Fig. 13.- Rendimiento de diversos ciclos en función de la presión

un calor total λ , el cual se descompone en tres sumandos:

a) Calor que se transforma en energía cinética interna en el fluido, con objeto de elevar su temperatura, y que designaremos con la letra q .

b) Calor que se transforma en energía de disgregación, con objeto de aumentar el volumen. Se representa por la letra r .

c) Calor que se transforma en energía dinámica efectuando un trabajo exterior.

Luego el calor total transformado será:

$$\lambda = q + r + x$$

en el cual estudiaremos la influencia de las altas presiones sobre los factores q y r .

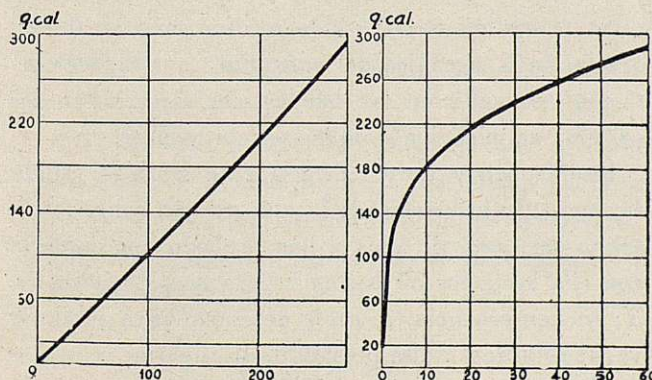


Fig. 14.- Calor de calefacción en función de la presión

Según las curvas que establecieron Knoblauch, Raisch y Hausen (fig. 14) q varía linealmente en función de la temperatura de saturación y en forma exponencial con la presión. Para el primer caso, Marks y Davis establecieron una ecuación lineal en función de la temperatura

$$q = 0,998 t - 2,88 \times 10^{-3} t^2 + 2,1333 \times 10^{-6} t^3$$

En Alemania se estableció una fórmula análoga.

$$q = 1,002497 t - 1,08717 \times 10^{-4} t^2 + 0,9373 \times 10^{-6} t^3$$

También Regnault, en Francia, la expresó en la forma

$$q = t + \frac{2}{10^5} t^2 + \frac{3}{10^7} t^3$$

De conformidad con estas ecuaciones, la cantidad de calor crece casi proporcionalmente con la temperatura, de forma que el beneficio obtenido al elevar ésta sería prácticamente nulo.

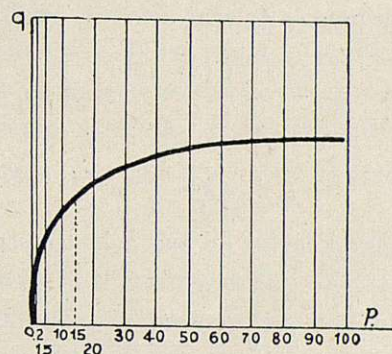


Fig. 15 - Curva Stodola del calor de calefacción

Stodola estudió la variación de esta clase de calor en función de la presión, utilizando la ecuación

$$q = \int_a^b dU + A \int_a^b p dv = \Delta U + A \int_{v_0}^{v_t} p dv$$

o, también, tomando p como variable

$$q = \Delta U + A \int_p^{p_t} v dp = \Delta U + A_v (p_t - p)$$

trazando la curva de la figura 15,

$$q = f(p)$$

de un especial interés, pues en ella se observa el rápido crecimiento de la presión entre 0 y 25 Kg/cm² y su escasa inclinación entre 40 y 100 Kg/cm².

Es decir, que con una pequeña cantidad de calor la presión aumenta rápidamente, y puede obtenerse así una elevada presión inicial con muy poco calor. Es ésta una de las grandes y principales ventajas de las altas presiones.

Si nos fijamos ahora en el factor r , o calor de vaporización, veamos cómo influyen sobre él las altas presiones y temperaturas.

En Estados Unidos e Inglaterra se ha utilizado con frecuencia la ecuación

$$r = 639 + 0,374 (t_s - 100) - 0,00055 (t_s - 100)^2 - 0,9983 t_s + 2,88 \times 10^{-5} t_s^2 - 2,133 \times 10^{-6} t_s^3$$

y en Francia, la de Regnault

$$r = 606,5 + 0,305 t_s - t_s = 606,5 - 0,695 t_s$$

Puede decirse que el calor de vaporización disminuye cuando la temperatura del agua aumenta, de forma que al llegar al punto crítico se anula, transformándose el agua bruscamente en vapor sin absorción de calor.

Thiesen utilizó la fórmula

$$r = C (t_c - t_s)^N$$

siendo

$$C = 92,79 \quad , \quad N = \frac{1}{3} = 0,33 \quad , \quad t_c = 374^\circ \text{C.}$$

basándose en el hecho de que a la temperatura crítica

$$r = 0 \quad \text{y} \quad \frac{dt}{dr} = \infty$$

Es decir, que en las calderas a muy alta presión el economizador resulta cada vez mayor y de importancia primordial a medida que nos acercamos al punto crítico y al llegar a éste todo el generador, es, en realidad, tan sólo un economizador, como es el caso de la caldera tipo Benson.

En cuanto al calor total λ , en lo que a las altas presiones se refiere, no se han obtenido siempre valores coincidentes a partir de los 175 Kg/cm², determinados unas veces por extrapolación, consideraciones teóricas o experimentalmente.

Keenan y Keyes han utilizado en Estados Unidos la expresión

$$h = F_0 x p + \frac{F_1}{2} p^2 + \frac{F_2}{4} p^4 + \frac{F_{12}}{13} p^{13} + F'$$

en la cual F' es una función de la temperatura que

puede obtenerse de la ecuación anterior para $p = 0$. Pudiendo escribirse

$$F' = h_{p=0} = \int_{T=273,16}^T C_{p0} \cdot dT + \text{constante.}$$

Siendo a su vez F_1 , F_3 y F_{12} cada una igual a la correspondiente $\frac{\partial(\Phi\tau)}{\partial\tau}$ en la cual los valores de Φ son funciones de la temperatura al igual que B_0 de la presión

$$F_0 = \frac{\delta(B_0\tau)}{\delta\tau}$$

C_{p0} es el calor específico a presión nula, que entre

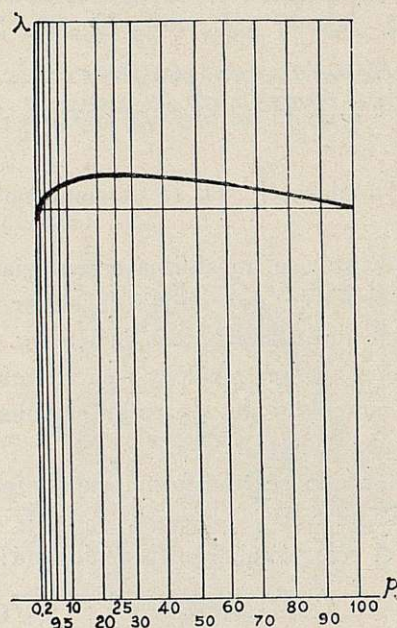


Fig. 16.-Curva Stodola del calor total.

otros procedimientos ha sido medido merced al desarrollo de la mecánica del «quantum» y a la interpretación adecuada de las bandas del espectro en los cálculos de mediciones de la energía nuclear.

Knoblauch y Raisch demostraron teórica y analíticamente la influencia de la alta presión sobre la entalpía del vapor de agua y han probado que aumenta con ella hasta los 30 Kg/cm², para decrecer después. Y, en consecuencia, el calor necesario para producir vapor saturado a alta presión no es superior al que se precisa para obtenerlo en baja presión.

Stodola trazó teóricamente por extrapolación la cur-

va correspondiente hasta los 100 Kg/cm², figura 16. En ella se observa claramente que, cuando la presión aumenta, el calor total crece rápidamente hasta un máximo próximo a los 25 Kg/cm² para disminuir luego lentamente; es decir, que se comprueba cómo el calor disminuye con las presiones más altas. Así, por ejemplo, el calor total a la presión de 20 Kg/cm² es igual al que corresponde a los 30 Kg/cm² y también existe la igualdad para los pares de valores correspondientes a las presiones de 95 y 40 Kg/cm², así como de 100 y 0,2 Kg/cm².

Esto último puede parecer en desacuerdo con fórmulas como las de Regnault y Henning

$$\lambda = 606,5 + 0,305 t_s \quad , \quad \lambda = 608 + 0,311 t_s$$

que asignan a λ una variación lineal con la presión y de carácter exponencial en función de la presión, lo

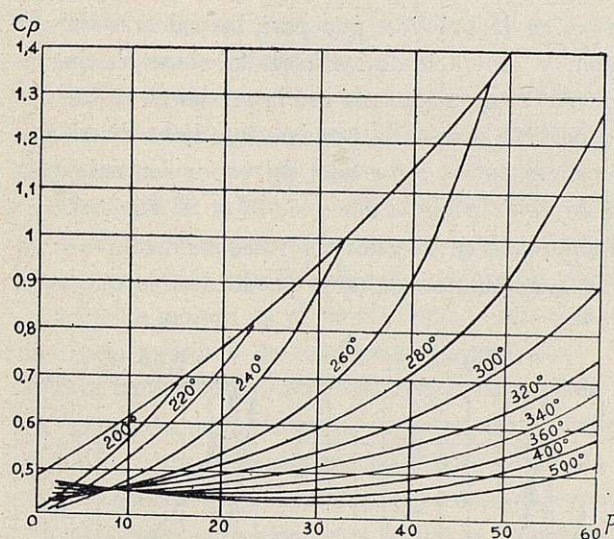


Fig. 17.- Calor específico en función de la presión y temperatura

cual no es, en realidad, exacto más que para las bajas y medias presiones.

Para explicar la aparente paradoja que se deduce de la curva de Stodola, según la cual el vapor a la presión de 100 Kg/cm² precisa 60 calorías menos que el vapor a 20 Kg/cm², fijémonos en la expresión del calor de evaporación,

$$r = A T (u' - u) \frac{dp}{dt}$$

que nos hace ver que a partir de un determinado valor de la presión el calor latente debe disminuir, pues, al aumentar dp la relación $\frac{dp}{dt}$ no crece sin fin y sin límite, y, en cambio, la diferencia $(u' - u)$ de los volúmenes específicos del vapor y del agua tiende hacia cero conforme nos aproximamos al punto crítico.

Luego, en definitiva, al aumentar la presión, la diferencia $(u' - u)$ disminuye, el calor latente también y, por lo tanto, el calor total. Es éste el gran secreto y la razón ventajosa del empleo de la muy alta presión.

Hasta aquí nos venimos refiriendo al vapor saturado; veamos ahora la influencia de las altas presiones y temperaturas sobre el vapor recalentado.

Cuando el vapor no está ya en presencia del agua, el sistema viene entonces a ser bivalente, y la ley de Regnault $p = f(t)$, deja de ser aplicable y subsiste solamente la ley general de los gases perfectos $p v = R T$.

La cantidad de calor para recalentar el vapor varía de acuerdo con la forma como se efectúa la transformación, y es evidentemente mayor a presión constante que a volumen constante; viene expresada por

$$q' = \int C_p \times dt$$

en la que C_p es el calor específico del vapor recalentado a la presión p , y es por ello q' función de la presión y de la temperatura.

En cuanto a la variación del calor específico en función de la presión y temperatura hay distintas teorías. Knoblauch y Mollier han señalado que para una presión C_p disminuye sensiblemente cuando aumenta la temperatura. Duchesne ha comprobado que permaneciendo constante la temperatura, el calor específico disminuye cuando aumenta la presión.

$$\left(\frac{dc}{dp} \right)_T = - A T \left(\frac{d^2 V}{dt^2} \right)_p$$

Ecuación que indica que al crecer la temperatura, las propiedades del vapor se aproximan a las de un gas perfecto y que, por lo tanto, su calor específico tiende a cero.

La experiencia demuestra que, lo mismo en baja

que en alta presión, C_p es función de T , lo que permite establecer la fórmula general

$$C_p = f(T) + \frac{C}{T_s \times \varphi(p)}$$

en la cual p viene expresada en Kg/cm^2 , siendo

$$f(T) = 0,3391 + 0,000197 T_s - \frac{12,8}{T_s - 256,4}$$

$$\varphi(p) = 588,97 + 0,3735 p - 6 \frac{310,3}{18,165 + p}$$

$$C = 20,33$$

Dicha fórmula pone en evidencia que existe en su representación gráfica una asíntota vertical que varía con la presión. Es decir, que cuando la presión aumenta, el calor específico disminuye, y, por lo tanto, menor es también el calor total de recalentamiento.

Cal.

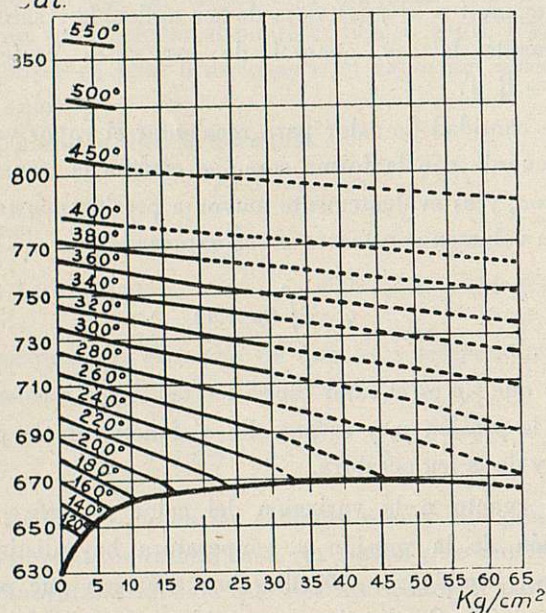


Fig. 18.- Isotermas del calor de recalentamiento del vapor.

Si nos fijamos en la figura 18 puede observarse que las isotermas descienden conforme la presión aumenta y que existe una rápida disminución del calor de recalentamiento para las isotermas bajas y más lenta para las elevadas.

Representando gráficamente en función de la presión, figura 19, el calor de calefacción del agua (q), el calor latente de vaporización (r) y el calor de recalentamiento (t_s), hasta la temperatura de 500°C ,

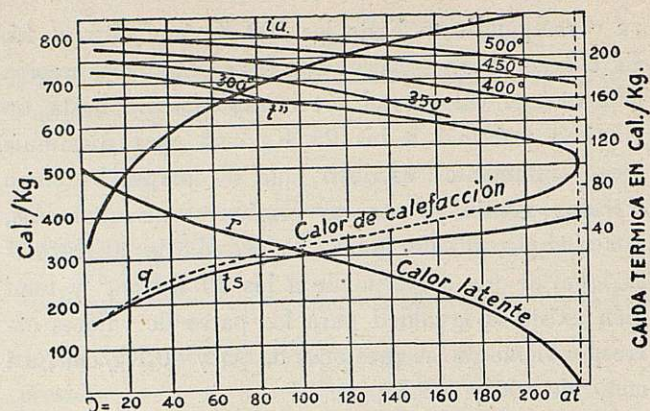


Fig. 19.- Curvas del calor total

así como la suma total de ellos, se observa que cuando crece la presión el calor latente (r) disminuye de una manera constante hasta anularse para la presión crítica, mientras que el de calefacción (q) aumenta hasta identificarse con el calor total en igual punto, y puede decirse, en la práctica, que para las calderas de alta presión la superficie de los haces tubulares destinados a calentar el agua aumenta con la presión y, en cambio, la superficie evaporada propiamente dicha disminuye, de manera que el calor total del vapor saturado pasa por un valor máximo entre los 30 y 50 Kg/cm^2 .

Fijándonos en el calor de recalentamiento del vapor a temperatura constante puede decirse que crece

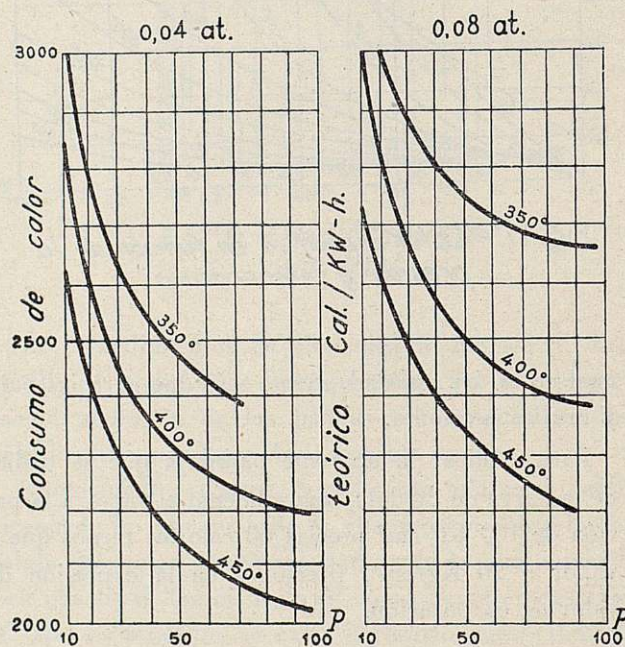


Fig. 20.- Consumo real de calor en función de la presión y temperatura.

en general con la presión, pero que para cada isoterma particular disminuye y puede llegar a anularse si ésta admite un punto de saturación y su decrecimiento es más lento que la temperatura, de forma que cualquiera que sea el calor total del vapor recalentado, disminuye siempre cuando la presión aumenta. Se comprueba también la importancia de las muy altas presiones en combinación con elevadas temperaturas de recalentamiento.

Podemos, por lo tanto, decir que *la cantidad total de calor que es necesario comunicar al agua para poderla transformar en vapor recalentado, a una cierta temperatura, disminuye siempre al aumentar la presión*. Es decir, que si disponemos de un cierto número de calorías, obtendremos con ellas mayor cantidad de vapor en alta que en baja presión, o también, que si se transforma 1 Kg. de agua en vapor recalentado a 400° C, se precisarán para ello más calorías si lo obtenemos a baja presión que en alta presión. Veamos un caso concreto: se trata, por ejemplo, de transformar 1 Kg. de agua en vapor recalentado a 400° C.

Si el estado final se considera a la presión de 10 Kg/cm², las calorías necesarias serán 780, y, en cambio, para la presión de 100 Kg/cm² sólo se precisan 740 calorías. Luego, en resumen, para una determinada potencia, aumentando la presión se obtiene una notable mejora en el rendimiento y una disminución en el consumo de combustible necesario.

Hasta aquí hemos tratado de reunir algunas de las principales consideraciones de carácter teórico, unidas también a datos prácticos recopilados por diversos especialistas europeos y americanos, y nos resta exponer a continuación otros elementos de juicio no menos interesantes, como lo son las mejoras económicas que se derivan de la utilización del vapor a elevada presión y temperatura.

PRINCIPALES VENTAJAS ECONÓMICAS DEL EMPLEO DE VAPOR DE AGUA A ALTA PRESIÓN

Para darnos una idea clara de las posibles ventajas económicas que pueden obtenerse con la utilización del vapor a hiperpresión, fijémonos en primer término en las curvas representadas en la figura 20, en las que está indicado el consumo real de calor, expresado en calorías por Kw-h, en función de los valores de la pre-

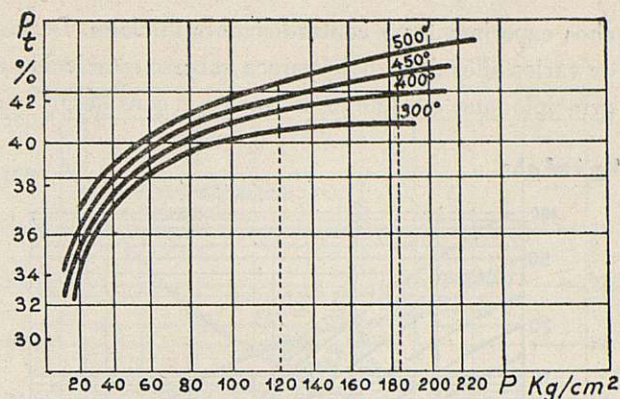


Fig. 21 - Curvas del rendimiento teórico en función de la presión y temperatura.

sión (entre 10 y 100 Kg/cm²) y de la temperatura (350 a 450° C) para dos valores de la contrapresión en el condensador (0,04 y 0,08 Kg/cm²).

En la figura 21 se han agrupado en forma de diagrama los valores teóricos del rendimiento térmico

$$P_t = \frac{\Delta \lambda}{i_t - i_c}$$

siendo $\Delta \lambda$ la caída de potencial térmico i_t el calor total, e i_c el calor del agua del condensador, y suponiendo que la transformación se verifica sin pérdidas. En estas últimas curvas puede comprobarse un notable y rápido aumento del rendimiento hasta presiones del orden de los 100 Kg/cm² y variaciones menos importantes al crecer la presión.

La determinación de la zona de valores para la presión y temperatura que determinan en la práctica los máximos rendimientos termodinámicos ha exigido mu-

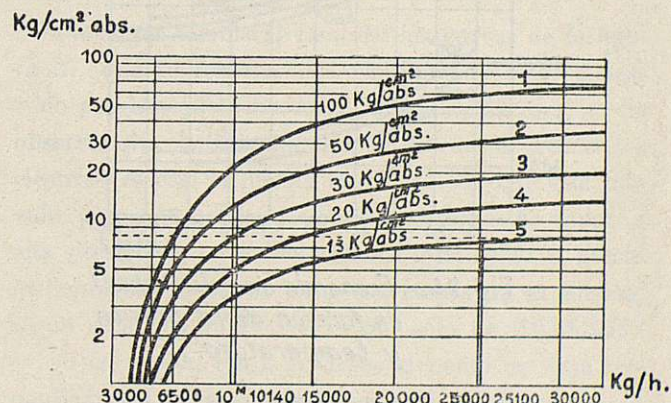


Fig. 22.- Cantidad de vapor para producir 1.000 C.V. en función de la presión a la entrada y en el escape.

chos experimentos y contradicciones iniciales. Después de varios años de trabajo parece haberse establecido en principio que los límites normales a considerar son:

Kg./cm² abs.

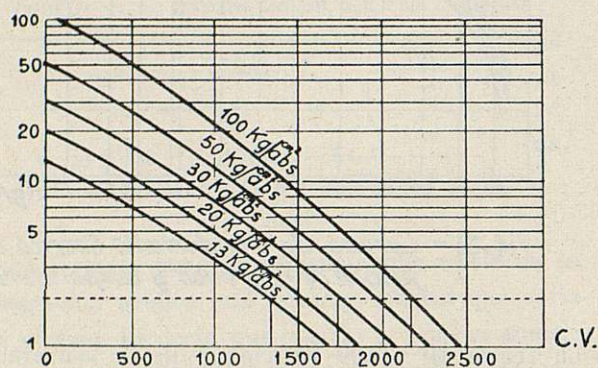


Fig. 23.- Potencia obtenida con 10 Tm/h. de vapor variando la presión a la entrada o en el escape.

120 y 185 Kg/cm² para la presión, y de 450 a 540° C para la temperatura.

Otra inapreciable ventaja de las modernas instalaciones eléctricas de vapor estriba en la posibilidad de trabajar en alta presión, en colaboración con una red de calefacción urbana o una instalación industrial en cuyo proceso se precise una notable cantidad de vapor a baja o media presión, pues ya sabemos que las

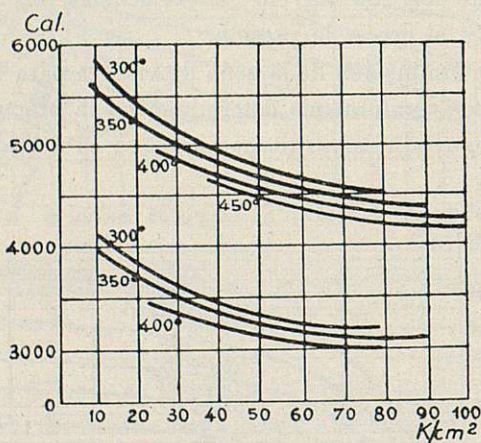


Fig. 24.- Economía de calor (vapor) en función de la presión y temperatura.

principales pérdidas de energía calorífica tienen lugar en el condensador, que en dichos casos puede ser total o parcialmente eliminado. Si la turbina trabaja a

contrapresión, con un valor determinado de ésta, ya hemos visto la notable influencia que en este caso puede tener el valor de la isoterma inferior sobre el rendimiento del ciclo de vapor, lo cual no tiene apenas influencia cuando se trabaja a medias o bajas presiones, lo que confirma también prácticamente esta nueva ventaja de las presiones elevadas.

En la figura 22, están indicadas las cantidades de vapor que se necesitan para una potencia útil de 1.000 CV, en función de la presión de entrada y de la contrapresión en el escape, con una temperatura de admisión de 400° C y rendimiento de la turbina del 80 por 100. Según el diagrama, para una presión inicial de 100 Kg/cm² y contrapresión de 8 Kg/cm², el consumo es de 6.500 Kg/h.; en cambio, si dicha presión de entrada es de 13 Kg/cm² el consumo aumenta a

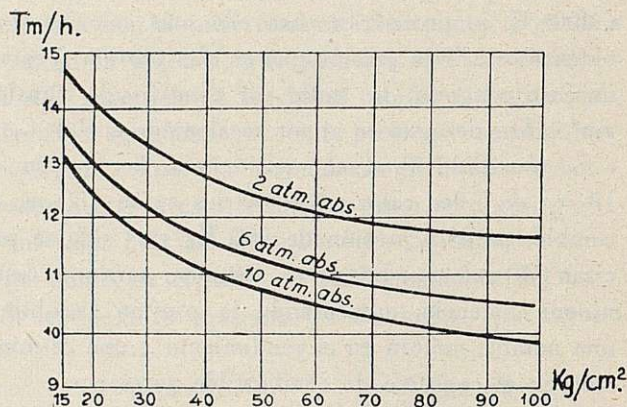


Fig. 25.- Economía de calor (combustible) en función de la presión en la admisión y en el escape.

unos 25.500 Kg/h. Diferencia muy notable que puede todavía aumentar si el valor de la contrapresión aumenta.

Por el contrario, en la figura 23, y también con escala logarítmica, se han representado las potencias obtenidas con 10 Tm/h. de vapor y en análogas condiciones al caso anterior. Para una presión inicial de 100 Kg/cm² y contrapresión de 2 Kg/cm², la potencia alcanzada es de 2.170 CV, que se reduce, para 30 Kg/cm² en la admisión, a 1.750 CV y a 1.330 CV para 13 Kg/cm².

Fijándonos en el aspecto puramente comercial, puede decirse que el interés de las altas presiones está ya completamente sancionado, pues en general el ahorro de combustible es tal que sobrepasa en cual-

quier caso al posible aumento de gastos de amortización derivado de los posibles mayores gastos de primer establecimiento que son precisos en algunos casos.

No podemos entrar en detalles respecto a los diversos factores que intervienen en la determinación de los límites económicos entre los que quedan compensados estos mayores gastos de primer establecimiento, puesto que, además de la presión, hay que tener en cuenta otra serie de factores, como son, la vaporización, las producciones específicas de las distintas superficies de calefacción, el sistema de combustión, el tipo de construcción adaptado, etc. Por lo cual nos referiremos a las curvas que sobre este particular han estudiado diversos investigadores y especialistas. Así, por ejemplo, la figura 24 nos da la economía de calor bajo forma de vapor para distintas presiones y temperaturas. La figura 25 da la economía referida al ahorro de combustión en función de la presión entrada del vapor y de la contrapresión en el escape.

También en las curvas representadas en la figura 26 indican la economía de carbón con instalaciones de alta presión comparadas con otra de baja presión a 15 Kg/cm².

Los gastos de primer establecimiento de las modernas instalaciones electrotérmicas dependen naturalmente de las circunstancias propias de la industria de cada país. De una manera general, se consideraba en Europa en los últimos años que una instalación a muy alta presión costaba en total aproximadamente un 15 % más que otra de baja presión, y en cuanto a los costes de dos centrales eléctricas a media y baja presión resultaban en la práctica iguales. En

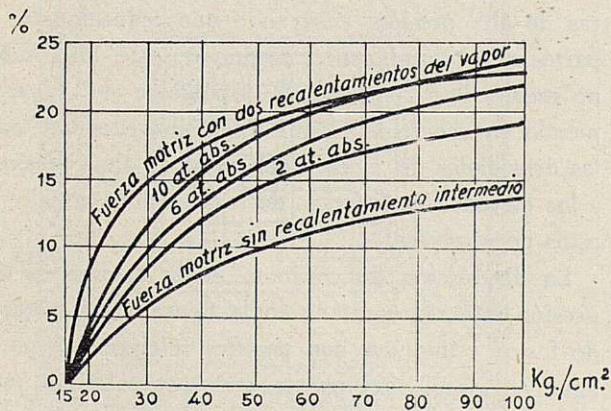


Fig. 26.- Economía de carbón en alta presión con respecto a la de 15 Kg/cm²

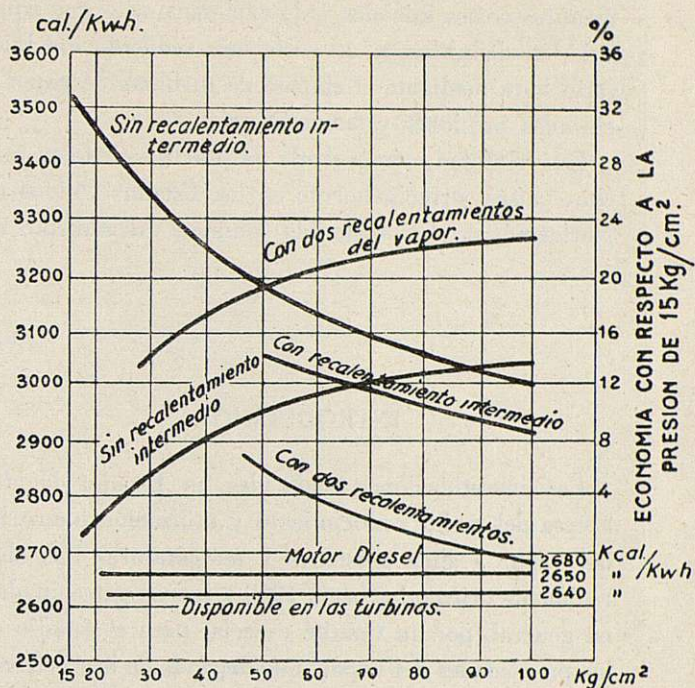


Fig. 27.- Curvas de Munzinger sobre economía de carbón con alta presión

Estados Unidos la decidida tendencia al empleo de las altas presiones ha igualado en general el coste de las instalaciones en cualquier caso, y se ha llegado algunas veces a costes más reducidos para la centrales de más presión. Pudiendo predecirse, casi con toda seguridad, que en el futuro la generalidad de este tipo de instalaciones fabricadas en el extranjero competirán en precios con las antiguas de baja presión.

Munzinger estableció también las curvas de la figura 27, que se refieren a la cantidad de calor consumido por kilovatios hora en función de la presión. Se observa que la energía disponible en el generador eléctrico es casi la misma en el caso de que esté movido por motor Diesel que por turbina de vapor a alta presión con recalentamiento intermedio y precalentamiento del vapor entre las etapas de expansión. Según ellas, la diferencia es tan sólo de 2.680-2.650 = 30 cal/Kw-h. Pero, si, desde el punto de vista termodinámico, el rendimiento es casi el mismo, en lo que se refiere a la economía del conjunto presenta innegables ventajas el generador de vapor a muy alta presión, tales como el empleo de combustibles más económicos, mayor elasticidad de funcionamiento y

menores costes iniciales y de explotación, lo que equivale, en definitiva, a un coste más reducido del kilovatio hora mediante el empleo de turbinas de vapor a elevadas presiones y temperaturas.

Esta realidad, comprobada ya prácticamente en muchos países, principalmente en los Estados Unidos de Norteamérica, fué sostenida también inicialmente en

Europa, tanto por los investigadores anteriormente citados como por técnicos ingleses, tales como sir John Biles, sir James Kemmal y sir Ch. Parson, que anunciaron su creencia de que la técnica del vapor a alta presión llegaría a substituir al motor Diesel no sólo en las instalaciones terrestres y marinas, sino incluso en las aplicaciones de la aviación.

ANEXO N.º 2

INTRODUCCIÓN

Las investigaciones realizadas en Estados Unidos acerca del mejor conocimiento y utilización industrial del vapor a altas presiones y temperaturas han sido realmente orientadas hacia 1930 y fueron patrocinadas, en general, por un Comité especial para el estudio de las propiedades del vapor, que depende de la American Society of Mechanical Engineers (A. S. M. E.), que a su vez ha colaborado con el extranjero tanto en comunicaciones directas con investigadores de otros países, principalmente Inglaterra, Alemania y Checoslovaquia, como en la Conferencia Internacional del Vapor que se reunió en septiembre de 1934 y en la que se pusieron de manifiesto tanto la realidad de las ventajas resultantes de la misma como la estrecha concordancia de resultados obtenidos, en general, por los expertos en vapor de agua de las naciones concurrentes.

Ahora bien, entre los distintos laboratorios dedicados a esta clase de experimentos en Norteamérica, vamos a referirnos principalmente en estas notas al que fué creado en 1931 bajo los auspicios de la Universidad de Purdue, en Lafayette, Estado de Indiana, que tuvo ocasión de visitar especialmente recomendado por la Foster Wheeler Corporation, empresa dedicada a la fabricación de calderas de vapor, que ha escogido algunos de sus especialistas de entre los ingenieros que cursaron sus estudios en la mencionada Universidad, creada en 1874 gracias a la desinteresada ayuda del conocido filántropo John Purdue, y en la cual se cursan diversos estudios de Ingeniería, que abarcan las especialidades de Química, Mecánica, Electricidad, Construcción, Obras públicas, Aeronáutica, Legislación y Educación Industrial y Economía, así como otros de Farmacia, Agricultura, etc.

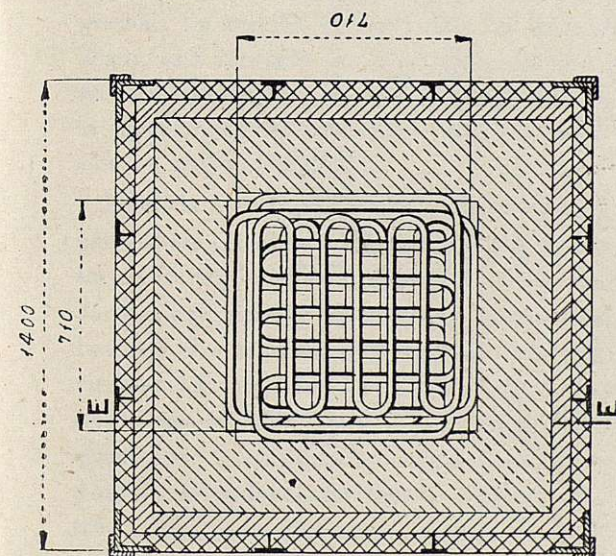
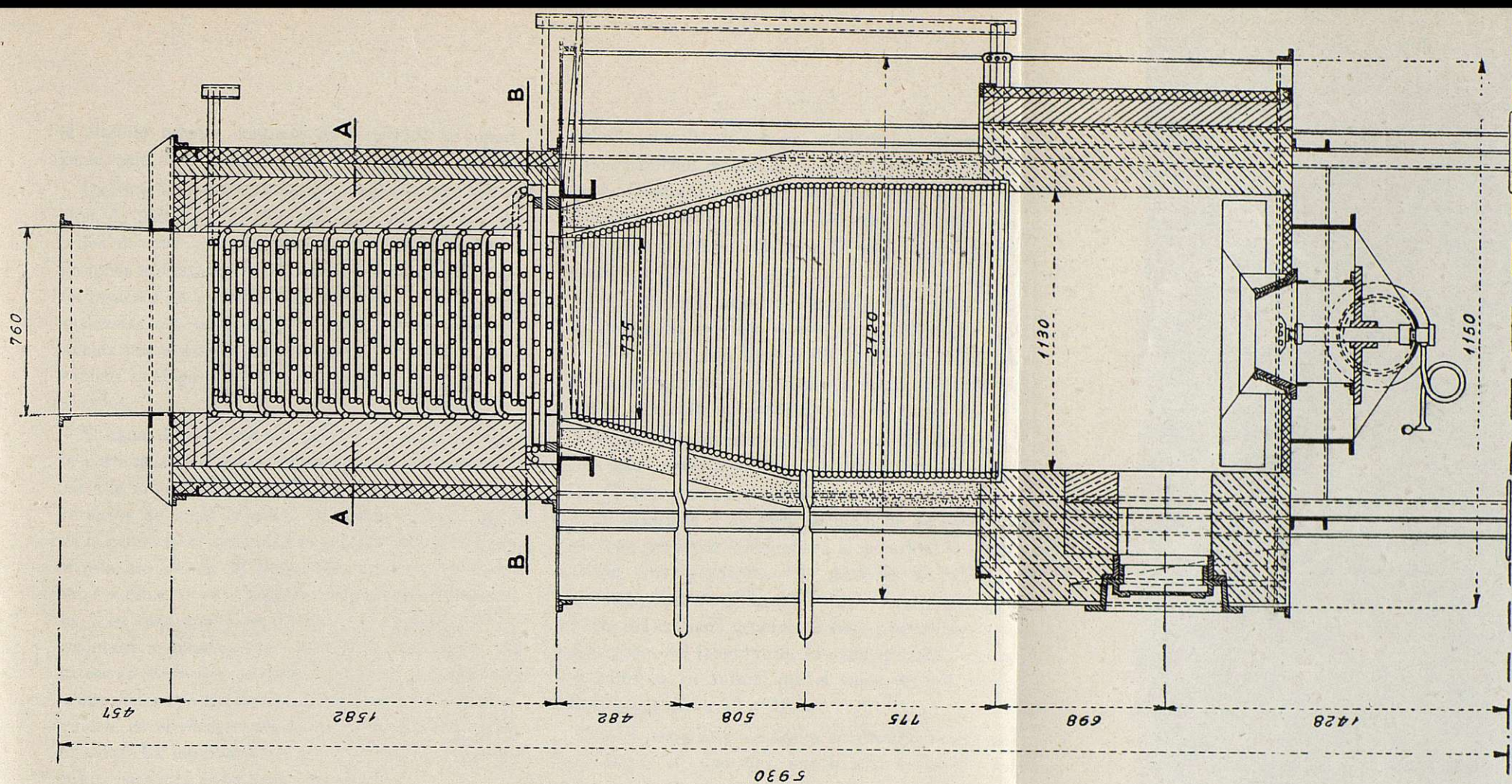
En dicho Laboratorio y bajo la dirección del profesor A. A. Potter, con la colaboración también de Mr. H. L. Solberg (que tuvo la amabilidad de acompañarnos en nuestras visitas y facilitar nuestra labor informativa) y del Instructor de Mecánica Aplicada G. A. Hawkins, se han realizado muy diversos e interesantes experimentos, tomando como base la instalación de un generador de vapor a muy alta presión del que vamos a ocuparnos con algún detalle a continuación.

EL GENERADOR DE VAPOR DE ALTA PRESIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE PURDUE

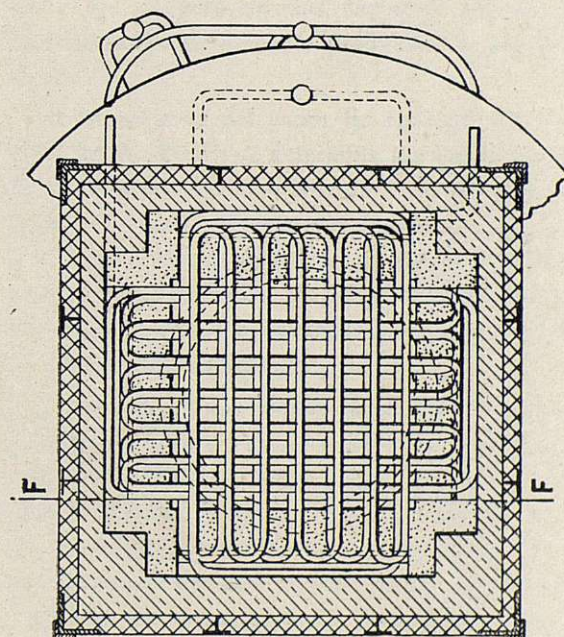
Esta caldera experimental fué construída por la casa norteamericana Babcock & Wilcox, eliminando muchos de los elementos normales de las calderas de baja presión y que no se consideraban adecuados para los trabajos en alta. Es del tipo tubular con alimentación forzada del agua de alimentación.

Con ello se buscaban verdaderas soluciones prácticas al problema de la construcción en serie de calderas de alta presión, ensayando una reducción de las partes más voluminosas y de mayor coste, así como al no menos importante de la circulación del agua, teniendo en cuenta la menor diferencia existente entre las densidades del agua y del vapor en altas presiones y los elevados coeficientes de transmisión de calor en estos generadores.

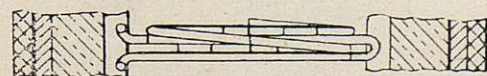
La disposición de conjunto de la caldera de alta presión está representada en la figura 1. El hogar es de forma cilíndrica, con paredes refrigeradas por el agua en circulación por los tubos y colocado junto al economizador de contracorriente, de sección cuadrada. No está dotado de colectores de vapor, de forma que el agua de alimentación, después de recorrer



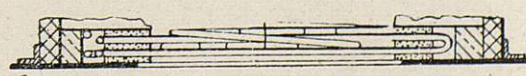
SECCIÓN. AA



SECCIÓN. BB



SECCIÓN. EE



SECCIÓN. FF

**GENERADOR DE VAPOR DE ALTA
PRESIÓN DEL LABORATORIO DE
LA UNIVERSIDAD DE PURDUE**
LAFAYETTE, INDIANA. ESTADOS UNIDOS

el circuito tubular continuo de la caldera y vaporizarse, sale de ésta bajo forma de vapor recalentado.

Durante los experimentos se ha sobrepasado la presión de 250 Kg/cm² con temperaturas iniciales del orden de 450° C en atención a la calidad y espesor de tubos utilizados en su fabricación, aumentadas posteriormente en experimentos de altísima temperatura realizadas con independencia de la presión real producida por el vapor, pero sometiendo a esfuerzos mecánicos análogos las distintas muestras de aceros ensayados.

El agua de alimentación penetra en la caldera por la parte más elevada del economizador y fluye por él hacia la inferior, siguiendo un circuito doble de tubos paralelos de igual longitud, de forma que los gases de la combustión ascienden en sentido contrario. Consta esta sección de 56 serpentines situados en planos superpuestos y en dirección normal alternativamente, 7 en cada tramo, en trozos rectos paralelos y horizontales separados entre sí 127 mm. y unidos sus extremos mediante conexiones en U. El final de cada tramo del serpentín se une alternadamente con el siguiente en el vértice opuesto de la sección del economizador. La longitud total de cada uno de estos circuitos paralelos es de unos 159 metros.

Después de circular por el economizador, el agua pasa a la parte inferior de las «paredes de agua» del hogar por medio de un solo tubo o compensador de presión. La sección del serpentín, en esta zona del hogar, está formada por otro doble circuito paralelo en forma de hélice cilíndrica que termina, en su parte superior, en un tubo único que compensa la presión en ambos circuitos.

Desde la zona media hasta la parte superior del hogar los dos circuitos tubulares paralelos están dispuestos en forma de hélice cónica, a la que se adaptan las paredes del mismo y de modo que quedan unidas ambas por el correspondiente tubo de compensación, y circulan los gases de la combustión y el vapor en el mismo sentido ascendente. Los tubos que forman los serpentines, contruidos en acero con pequeña proporción de carbono, no tienen soldadura. Su diámetro exterior es de 25,4 mm., y el espesor de 6,35 mm., con uniones soldadas a tope por medio de soplete oxiacetilénico.

Se utiliza en la caldera combustible líquido, tipo

«fuel-oil», que llega al hogar mediante un quemador de pulverización mecánica normal, de la clase denominada Cuyama, y situado en la parte cilíndrica inferior, de forma que los gases ascienden directamente hacia la parte superior, donde está emplazada la chimenea.

El agua que alimenta el generador está impulsada por una bomba de triple efecto, accionada por un motor eléctrico de corriente continua de velocidad variable y se calienta previamente hasta la temperatura deseada mediante un precalentador de vapor vivo.

A la salida de la caldera existe una válvula de mariposa que regula la producción total de vapor y después de ella y del precalentador existe un condensador de superficie y un cierto número de depósitos de agua que permiten comprobar, al pesarlos, la vaporización correspondiente. Las pérdidas de vapor y agua se compensan utilizando vapor condensado procedente del colector general de baja presión de otras instalaciones del laboratorio. El agua se trata con fosfato trisódico, de forma que el valor del pH quede comprendido entre 10 y 10,5.

Para el suministro de aceite combustible empléase, hasta llegar al quemador, una bomba accionada por motor y provista de regulador, y se comprueba el consumo por el peso de dos depósitos situados sobre básculas convenientemente graduadas y con uniones flexibles.

La temperatura del vapor de agua en toda la longitud de su circuito se determina por medio de 42 pares termoelectrónicos. En cuanto a la presión, existen también 7 tomas dispuestas en lugares apropiados. Dichos termostatos consisten en pequeños recipientes de acero que van roscados a tapones tubulares provistos de un par termoelectrico (hierro constantan) soldado en el fondo de los mismos.

El conjunto de los diversos termostatos queda agrupado en un cuadro común de clavijas, provisto de potenciómetro del tipo Needs y Northrup, que se utiliza para la determinación de temperaturas. En cuanto a las presiones se comprueban con un manómetro Bailey accionado por motor automático y contrapeso.

Uno de los problemas que hubieron de ser tenidos muy en cuenta fué el de la regulación de la caldera en lo que se refiere a su vaporización. Al eliminar los calderines, la cantidad de agua en contacto con vapor

saturado es menor y, además, por el hecho de no existir una superficie fija de recalentamiento del vapor, se complica todavía más la forma de regular la producción, y aparece claramente la idea de ser necesaria una regulación automática con cualquier carga de la caldera. Por otra parte, la supresión del calderín, que hace el efecto de un acumulador de calor, que amortigua a su vez las oscilaciones de la presión merced a la energía contenida en el agua evaporada, con las fluctuaciones de la carga, obliga a un regulador más sensible en nuestro caso, de forma que actúe muy rápidamente y entre límites aceptables.

En las calderas de uso normal sólo es necesario regular la presión y se puede comprobar la temperatura final del vapor mediante una superficie fija de recalentador que la determine.

Pero en el caso que nos ocupa, el vapor puede obtenerse saturado o recalentado, y éste tan sólo con la limitación de temperatura que impongan las calidades de los materiales utilizados en los tubos del recalentador. De manera, que la variación de la temperatura final del vapor recalentado se regula por la saturación que exista entre la cantidad de combustible quemado y la del agua en circulación, y se puede variar la superficie del recalentador desde cero hasta la mitad de la superficie total de los tubos que cubren las paredes del hogar tan sólo con modificar la relación citada. Esta gran variabilidad de la superficie de recalentamiento conduce a considerar la regulación del generador bajo el doble aspecto de la presión y de la temperatura del vapor producido. Y, además, una modificación de una de dichas variables afectaría también a la otra, de manera que la forma de conducir la regulación debe ser actuando sobre las dos; dentro siempre de estrechos límites, con el fin de evitar que la variación de una nos origine oscilaciones pendulares sobre los distintos elementos que influyen en ambas variables.

El regulador automático de que fué provisto este generador lo proyectó y fué construido por la Bailey Meter Co, dándole una flexibilidad de funcionamiento suficiente como para permitir su empleo en grandes calderas provistas de elementos auxiliares análogas a la de las modernas centrales térmicas. Es del tipo electrónico, y es su principal elemento un tubo «thyatron» que suministra la energía necesaria para

actuar sobre los distintos elementos que regulan la entrada de combustible, aire y agua.

Como es sabido, la válvula «thyatron» es una válvula triodo o tetrodo de atmósfera gaseosa, de cátodo caliente, con una o más rejillas para regular la iniciación de la corriente de placa, que actualmente ha tenido ya muchas aplicaciones, tales como: la vigilancia del tiempo de duración de la corriente de soldadura, con precisión equivalente a una reducida fracción de segundo; la conexión de motores de corriente continua a las líneas de corriente alterna; la regulación de las turbinas de vapor en las modernas centrales térmicas, etc., aparte de otras no menos importantes en el campo de la radiotelegrafía, como la ejecución de las «órdenes» transmitidas por la célula fotoeléctrica aplicadas también a muy diversos casos industriales.

La válvula para regular el paso de «fuel-oil», el réostato de campo del motor de corriente continua que mueve la bomba del agua de alimentación y el regulador del ventilador de aire de tiro forzado están accionados por motores de 0,25 C. V., con inversión de marcha y cuya dirección de giro queda regulada por los diferentes tubos electrónicos «thyatron», disponiéndose el conjunto de manera que, al variar la presión, la temperatura o la vaporización, los elementos principales sobre los que hay que actuar para que accionen los contactos eléctricos equilibrados de los diferentes circuitos electrónicos que han de suministrar la energía necesaria a los motores citados, reciban con toda precisión tan sólo el impulso para lograr el fin deseado. Y como para abrir todos los contactos eléctricos intercalados en los circuitos con «thyatron» sólo se precisa una intensidad de corriente muy débil, es posible el empleo de contactos extremadamente ligeros y sensibles que evitan la fusión de los extremos metálicos de los mismos.

En el caso más usual de una central térmica, la vaporización de una caldera depende de la potencia que deba suministrar la turbina y, por lo tanto, el elemento primordial que debe modificar el ritmo de entrada de combustible y agua en la caldera será la válvula de vapor a la salida del generador de vapor. Cuando esta válvula se abre o se cierra hace girar un motor tipo Selsyn que actúa a su vez sobre otros motores conectados a los diversos contactos de los circuitos de rejilla de los tubos «thyatron» que suministran la

energía eléctrica necesaria a los motores de corriente continua que mueven la válvula de entrada de combustible y el reóstato del motor de la bomba del agua de alimentación, de forma que las cantidades de «fuel-oil» y de agua se modifican de acuerdo con el movimiento de la válvula de salida de vapor. Al mismo tiempo, la cantidad de agua se reajusta también por un regulador térmico secundario que se mueve al variar la temperatura del vapor recalentado, antes de que ésta haya alcanzado su valor máximo. A su vez, la proporción necesaria de combustible líquido se corrige con exactitud, en el caso de que la presión de salida difiera de la normal, mediante un regulador de la cantidad de aire necesaria para la combustión que se regula por un contador Bailey. Si el indicador de este regulador de aire sufre un desplazamiento, originado como consecuencia de una variación del consumo de combustible, cierra los contactos de los circuitos de rejilla de los tubos electrónicos que hacen funcionar el motor de corriente continua que mueve a su vez el regulador de aire de tiro forzado y hace volver a su posición correcta al indicador de aire, cualquiera que sea la cantidad de combustible consumida.

Experimentalmente se ha comprobado que este sistema de regulación funciona satisfactoriamente y con la suficiente rapidez para poder regular la presión y la temperatura del vapor entre límites muy estrechos, aun cuando se produzcan oscilaciones frecuentes en la producción de vapor.

Con respecto al funcionamiento de esta caldera experimental del Laboratorio de la Universidad de Purdue, cabe hacer las observaciones que siguen a continuación.

Las presiones normales de trabajo oscilan entre 140 y 250 Kg/cm², aunque también se ha utilizado con presiones menores hasta del orden de 50 Kg/cm², aunque para éstas las pérdidas de carga son ya excesivas a no ser que se reduzca la vaporización correspondiente. Puede evitarse este pequeño inconveniente, si se quiere disponer de una gama más extensa de presiones de trabajo, empleando tubos de mayor diámetro y disponiendo la superficie del recalentador en cuatro circuitos paralelos en vez de dos, de tal modo que se reduzca la longitud de los circuitos y la velocidad de circulación en ellos.

Para una temperatura y presión dadas, las superficies de calefacción del hogar propiamente dicho y del recalentador están de tal forma distribuidas que la de este último permanece prácticamente independiente de la vaporización del generador, lo cual tiene una especial importancia en lo que se refiere a la regulación automática con carga variable, pues de esta manera la temperatura puede regularse desde un punto del circuito en el cual el grado de recalentamiento es todavía reducido, lo que evita las complicaciones inherentes a la regulación de temperatura en el extremo final del recalentador.

Para cualquier vaporización y con una presión de trabajo determinada, la temperatura del vapor se puede variar entre límites muy amplios, que oscilan entre la temperatura de saturación y la máxima admisible para el material de que han sido contruidos los tubos del recalentador. Varía, por lo tanto, la superficie del recalentador entre 0 y 60 % de la total del hogar, de acuerdo con las temperaturas antes aludidas.

Durante los ensayos no se han observado dificultades provenientes de incrustaciones, y así lo ha demostrado la inspección de los termoestatos en las superficies interiores de los tubos, aunque cabe pensar que durante un servicio continuo pudieran existir, ya que se elimina también el lavado de la caldera que se produce en los experimentos durante la puesta en marcha y apagado de la misma.

La vaporización mínima fué de 770 Kg/h, limitada por las características del quemador de combustible empleado, que fué de los normalmente utilizados y menores dimensiones posibles, al cual corresponde también el caudal de la bomba de alimentación del agua de la caldera. En cuanto a la carga máxima alcanzó una cifra de 2.050 Kg/h, limitada a su vez por las pérdidas de carga en el generador y la elevada temperatura de salida de los gases de escape.

En cuanto al rendimiento, alcanzó tan sólo a un 70 % aproximadamente, cifra algo baja aun tratándose de una caldera experimental, pero afectada por las condiciones del tiro de la chimenea que no permitieron adaptar debidamente la sección del economizador para obtener una mejor transmisión calorífica. Sin embargo, en las calderas comerciales de alta presión, después contruidas, se han alcanzado rendi-

mientos del 89 %, dotándolas también de recalentadores del aire de la combustión.

El tiempo necesario para la puesta en servicio normal de la caldera es tan sólo de unos 15 a 20 minutos, y puede reducirse la presión, en el apagado, a una cifra muy reducida y en un espacio de tiempo de 5 a 10 minutos, aunque, sin embargo, debe mantenerse en servicio la bomba de alimentación de agua durante algún tiempo con objeto de conseguir un enfriamiento suficiente y progresivo de las paredes del hogar.

En una caldera de este tipo, lo mismo las impurezas contenidas en el agua que los productos químicos que sean agregados deben salir juntamente con el vapor producido si quieren evitarse las incrustaciones. De los experimentos efectuados, se deduce que los sólidos en suspensión en el vapor se depositan en el interior de los tubos, con el consiguiente aumento de la pérdida de carga, si el agua de alimentación ha sido previamente tratada con NaOH o PhO_4Na_3 . Esta dificultad puede eliminarse utilizando agua procedente de vapor condensado destinado a otros usos u obtenida por destilación o también mediante el empleo de aguas no muy duras sometidas a tratamiento químico especial mediante resinas sintéticas artificiales (wofatita, zeo-carb, etc.) que depuran el agua con durezas que oscilan entre 0 y 0,5 grados hidrotimétricos franceses. Puede admitirse también la solución de modificar el circuito agua-vapor, instalando un separador al final de la superficie de evaporación en el cual entraría una mezcla de vapor y agua del orden del 90 % y se recoge el agua que debería llevarse al economizador mediante una bomba apropiada, mientras que el vapor restante seco se recalentaría en la forma acostumbrada.

Uno de los más importantes problemas que se han suscitado en la construcción de estas calderas, a muy alta presión, es el de la regulación de la vaporización en los distintos circuitos paralelos conectados a los colectores generales de entrada y salida, de forma que la evaporación quede estabilizada en cada uno de ellos y la entalpía del fluido en circulación en cada circuito sea aproximadamente igual al valor medio de la entalpía del conjunto de todos los circuitos paralelos. La desigual distribución de calor en el recalentador puede también producirse por distintas causas, como,

por ejemplo, la diferente resistencia que ofrecen los tubos de diversas longitudes, la variación del diámetro interior como consecuencia de incrustaciones o corrosiones, o también por obstrucciones parciales motivadas por las uniones soldadas. Asimismo se producen desequilibrios en la vaporización como consecuencia de una absorción desigual de vapor ocasionada por la disposición asimétrica de las superficies de recalentamiento, acumulación de escorias o quedar fuera de servicio un cierto número de quemadores de combustible. Pudiendo provenir incluso como consecuencia de una disposición inadecuada de los tubos de compensación o de otros aparatos de regulación.

En la actualidad, y teniendo ya presente las principales dificultades que se derivaron de este generador de vapor de alta presión, se construye otro más moderno, que al parecer será instalado por la Marina norteamericana en su Escuela Naval de Annapolis, con vistas a proseguir estos experimentos, de indudable importancia para la modernización de los equipos de propulsión para el transporte marítimo.

EXPERIMENTOS ACERCA DE LAS VARIACIONES DE LA VAPORIZACIÓN EN LOS CIRCUITOS DE UNA CALDERA DE ALTA PRESIÓN

Para poder determinar el efecto producido por la desigual absorción de calor, la distinta resistencia de cada circuito y la forma de disponer los tubos compensadores en lo que afectan a la vaporización correspondiente de cada circuito, se han realizado algunos experimentos.

La pérdida de carga en una tubería horizontal por la que circula un fluido compresible en régimen turbulento puede determinarse mediante la expresión

$$P_1 - P_2 = \frac{G^2}{g} \left[(V_2 - V_1) + \frac{2 f_a \times V_a \times L}{D} \right]$$

en la cual

G = velocidad de vaporización $\text{Kg/seg} \times \text{cm}^2$.

g = aceleración de la gravedad (cm/seg^2).

v_1 = volumen específico en la sección inicial.

v_2 = volumen específico en la sección final.

v_a = volumen específico en medio de ambas secciones.

f_a = coeficiente medio de rozamiento entre ambas secciones.

Ahora bien, como el coeficiente de rozamiento es una función del número de Reynolds,

$$\frac{VD\delta}{\mu} = \frac{GD}{\mu}$$

μ = viscosidad absoluta (Kg/seg \times cm).

V = velocidad media (cm/seg).

ρ = densidad del fluido (Kg/cm³)

era necesario conocer la viscosidad del vapor y del agua, que se ignoraban inicialmente. El coeficiente de rozamiento se determinó midiendo la pérdida de carga en un tubo de 12,7 mm. de diámetro y de unos 122 cm. de longitud conectado a un piezómetro. El agua impulsada mediante una bomba lo fué a temperaturas comprendidas entre 13 y 368° C y el vapor recalentado a presiones absolutas entre 72 y 252 Kg/cm². Para presiones inferiores a unos 150 Kg/cm² la pérdida de carga se midió con un manómetro diferencial de mercurio empleando dos vidrios planos de los utilizados en las calderas de alta presión y poder observar el nivel de agua de las mismas. Para más altas presiones se construyó un manómetro metálico, curvando un tubo de acero sin soldadura y radiografiando los niveles de mercurio en ambas ramas mediante un tubo de Rayos X a la tensión de 100 Kv.

De los experimentos realizados en tubos de acero alimentados con agua y vapor con amplias variaciones de presión, temperatura y velocidad de circulación, calculando las pérdidas de carga para el caso de circuitos tubulares con o sin tubos de compensación, en uno o dos extremos de la zona de vaporización, con coeficientes normales de rozamiento o incrementados convenientemente para poder tener presente las posibles sedimentaciones en los tubos, se dedujeron las siguientes consideraciones, aplicables a los circuitos tubulares de calderas de circulación forzada provistos de colectores de entrada y salida:

a) La marcha continua de los haces paralelos de tubos comprendidos entre los colectores de agua de alimentación y de vapor recalentado es esencialmente inestable, y la pérdida de carga es, aproximadamente, independiente de la vaporización en los mismos. A veces, pequeñas variaciones en los coeficientes de transmisión de calor o en los de rozamiento originan apre-

ciables disminuciones en la evaporización e incluso accidentes en los tubos que trabajan en paralelo.

b) La inestabilidad de funcionamiento de estos circuitos tubulares puede evitarse mediante el empleo de resistencias adecuadas, tales como tubos de pequeño diámetro colocados a la entrada del correspondiente circuito. Sin embargo, esta solución presenta el inconveniente de necesitar un mayor consumo de energía en lo que se refiere a la bomba de alimentación de agua.

c) El empleo de un compensador o colector común, en los extremos de la zona evaporadora, puede estabilizar la vaporización si los circuitos tubulares están dispuestos simétricamente en cuanto a su forma y longitud, si están limpios interiormente y colocados también de forma análoga con respecto a la superficie de radiación del hogar y a la corriente de circulación de los gases de escape.

d) La zona de los haces tubulares que comprende el economizador de agua y el recalentador de vapor, presenta una mayor estabilidad que la parte correspondiente a la zona de evaporación.

e) En el caso de existir un solo tubo compensador, es preferible colocarlo al final de la zona del economizador, pues si se lo sitúa después de la parte destinada a evaporador el circuito, resulta mucho más sensible a las perturbaciones que provocan su desequilibrio.

f) La estabilidad de marcha de los circuitos tubulares paralelos es en general independiente de su capacidad.

g) La estabilidad del circuito en la zona del recalentador de vapor es independiente de la presión. En la zona anterior de éste, que pudiéramos llamar de evaporación en el recalentador, la estabilidad es mayor con altas presiones.

h) De acuerdo con los experimentos citados se establecieron las curvas relativas a la variación de la entalpia del vapor o del agua que circula a través de circuitos tubulares paralelos con colectores comunes, para distintas resistencias de circulación en las mismas y absorción de calor en ellos.

LA ENTALPIA Y OTRAS CARACTERÍSTICAS TERMODINÁMICAS DEL VAPOR A MEDIA Y ALTA PRESIÓN EN LAS PROXIMIDADES DEL PUNTO CRÍTICO

Antes de que en Estados Unidos se llevase a cabo el programa de investigación sobre el vapor a alta presión y temperatura, los experimentos y mediciones realizados a principios de siglo por Knoblauch, Linde y Klebe sobre el volumen específico del vapor, eran los únicos datos exactos disponibles y comprendían realmente una reducida gama de valores. En cambio, en las cifras obtenidas por Keyes, Smith y Gerry han conseguido ya abarcar hasta los 460° C y presiones incluso superiores a 350 atmósferas.

La ecuación que expresa dichos datos parte de la referente al volumen, considerada como función de la presión y de la temperatura, y válida hasta para unos 10 cm/gr., a la que corresponden unos 344° C en la zona lateral de la curva de saturación del vapor. La fórmula establecida por dichos investigadores fué la siguiente:

$$v = \frac{4,55504 T}{p} + B$$

en la cual sus diferentes términos vienen expresados en las unidades que se expresan a continuación:

v = centímetros cúbicos por gramo

p = atmósferas efectivas

$T = 273,16 + t^{\circ} \text{C} = \tau^{-1}$

deduciéndose B del sistema:

$$B = B_0 + B_0^2 \cdot g_1(\tau) \cdot \tau \cdot p + B_0^4 \cdot g_2(\tau) \cdot \tau^3 \cdot p^3 - B_0^{12} \cdot g_3(\tau) \cdot \tau^{12} \cdot p^{12}$$

$$B_0 = 1,89 - 2641,62 \cdot \tau \cdot 10^{80870 \tau^2}$$

$$g_1 = 82,546\tau - 1,6246 \cdot 10^5 \cdot \tau^2$$

$$g_2 = 0,21828 - 1,2697 \cdot 10^5 \cdot \tau^2$$

$$g_3 = 3,635 \cdot 10^{-4} - 6,768 \cdot 10^{64} \cdot \tau^{24}$$

El error obtenido partiendo de las expresiones anteriores, para un peso molecular del agua de 18,0154, es inferior al uno por mil para los 10 cm³/gr. y se ha utilizado para la determinación de los datos correspondientes a las tablas de vapor en dicha zona de saturación.

En cuanto a la entalpia h , en esta misma zona pue-

de obtenerse de la expresión de B al integrar la expresión:

$$\left(\frac{\delta h}{\delta p} \right)_t = \left(\frac{\delta (v \cdot \tau)}{\delta \tau} \right)_p$$

ya que resulta evidente partiendo de dicha expresión, que

$$\left(\frac{\delta (v \cdot \tau)}{\delta \tau} \right)_p = \left(\frac{\delta (B \cdot \tau)}{\delta \tau} \right)_p$$

y que puede escribirse

$$B = B_0 + \Phi_1 \cdot p + \Phi_3 \cdot p^3 + \Phi_{12} \cdot p^{12}$$

en la cual B_0 , Φ_1 , Φ_3 y Φ_{12} son únicamente funciones de la temperatura, y que el coeficiente correspondiente a temperatura constante puede a su vez expresarse por

$$\left(\frac{\delta h}{\delta p} \right)_t = F_0 + F_1 \cdot p + F_3 \cdot p^3 + F_{12} \cdot p^{12}$$

en donde F_1 , F_3 y F_{12} corresponden a las derivadas

$$\frac{\delta (\Phi \cdot \tau)}{\delta \tau}$$

para los subíndices respectivos de Φ y

$$F_0 = \frac{\delta (B_0 \cdot \tau)}{\delta \tau}$$

Integrando se obtiene

$$h = F_0 \cdot p + \frac{F_1}{2} p^2 + \frac{F_3}{4} p^4 + \frac{F_{12}}{13} p^{13} + F'$$

en la que F' es una función de la temperatura, que puede identificarse haciendo $p = 0$ en esta ecuación de la entalpia.

Puede, por lo tanto, escribirse:

$$F' = 2h_{p=0} = \int_{273,16}^T C_{p0} \cdot dT + h'$$

Siendo C_{p0} el calor específico para la presión cero y h' una constante arbitraria.

La determinación directa de C_{p0} (que es una función dependiente sólo de la temperatura) resulta prácticamente imposible, pero mediante la ecuación de Clausius

$$C_{p0} = C_p + \int_p T \left(\frac{\delta^2 v}{\delta T^2} \right)_p dp$$

puede calcularse, obteniendo por diversas mediciones

los valores correspondientes del volumen, la presión y la temperatura.

Otro método que puede utilizarse para determinar C_{p0} consiste en recurrir a los valores de la entalpía partiendo de la expresión citada anteriormente para las mismas y obtenida de la ecuación de estado, a saber:

$$C_{p0} = \frac{\delta}{\delta t} \left[h - (F_0 p + \frac{F_1}{2} p^2 + \frac{F_3}{4} p^4 + \frac{F_{12}}{13} p^{12}) \right]_{p \rightarrow 0}$$

A pesar de que los anteriores métodos han sido empleados con frecuencia, Keenan y Keyes en el cálculo de las constantes físicas en alta presión y en general para todos los valores calculados en sus tablas sobre las propiedades termodinámicas del vapor han seguido otro método más apropiado, que ha sido ya aludido en otro Anexo. Está basado en la medida de la energía molecular de acuerdo con la teoría del «quantum» y de la interpretación adecuada de las bandas del espectro producido por el vapor de agua.

Mecke, Baumann y Freudenberg han realizado suficiente número de investigaciones para poder calcular dicha energía partiendo del espectro de dicho vapor. Gordon ha continuado a su vez estos cálculos y ha determinado el valor de C_{p0} mediante la fórmula más adecuada hasta el presente, que viene expresada en la siguiente forma:

$$C_{p0} = 1,472 + 7,5566 \cdot 10^{-4} T + 47,8365 \tau \text{ julios/gr. } \tau$$

Para determinar, por lo tanto, el valor de la entalpía, sólo se precisa escoger en correspondencia el término restante, o sea h' . Normalmente se considera que la entalpía es igual a cero para el estado líquido de saturación a 0°C , para la cual debe restablecerse el valor de h' y concretar el dato relativo a la entalpía del vapor saturado de dicha temperatura. En este caso, numéricamente, el resultado obtenido correspondería al calor de evaporación, para el cual, por desgracia, no se han podido efectuar mediciones directas. No obstante, cualquier valor exacto de la entalpía puede servir para determinar h' , admitiendo, desde luego, el valor cero para la temperatura de 0°C de acuerdo con lo establecido en la utilización normal de las tablas de vapor. Como a partir del valor de saturación 100°C han sido muchos los investigadores que han realizado experimentos en esta zona de la curva de saturación, se la eligió con objeto de obtener el valor más exacto de la entalpía. El valor determinado por

Osborne de 2675,35 julios/gr. fué por fin adoptado. Otros valores determinados por los investigadores, Richards y Matthew, Henning y Smith, han conducido al valor medio 2675,08 que difiere poquísimamente del valor antes citado de Osborne. Partiendo de esta cifra se determinó el valor de $h' = 2502,36$ julios/gr. Con este último valor y la ecuación de la entalpía se pudieron determinar todas las cifras relativas a ésta, a excepción de los estados con volumen específico inferior a $10 \text{ cm}^3/\text{gr}$.

Partiendo de lo anterior ha sido posible efectuar infinidad de cálculos y comprobaciones directas para la fijación de los valores de la entalpía que fueron en general admitidos definitivamente. Osborne las ha computado con errores inferiores a una milésima y se han apreciado siempre diferencias menores a dos milésimas en condiciones normales de experimentación. También las excelentes mediciones efectuadas por Henning, Jacob, Fritz y Koch han contribuido a la mejor comprobación de los trabajos de Osborne y de la ecuación de la entalpía.

A su vez, Havlicek y Miskovsky han dado a conocer diversos valores de la entalpía, obtenidos mediante medidas directas, que difieren en menos 1 cal/gr., o sea aproximadamente en una milésima, lo que supone un trabajo admirable en cuanto a precisión y gran extensión de los experimentos.

En lo que se refiere a los valores del calor específico, obtenidos también directamente por Koch y Knoblauch, han sido comparados con los deducidos de la ecuación de la entalpía, de los cuales han diferido en cifras verdaderamente despreciables, como puede observarse en la figura 2.

Para presiones y temperaturas medias, Davis y Kleinschmidt, de la Universidad de Harvard, han realizado también experimentos sumamente exactos que están representados en la figura 3; en ella las líneas continuas indican los valores del coeficiente Joule-Thompson obtenidos partiendo de la ecuación diferencial antes citada de la entalpía y los pequeños círculos señalan las cifras obtenidas en estos experimentos. Los valores representados bajo las curvas correspondientes 125° , 145° y 166°C corresponden a valores más difíciles de obtener y de menor precisión que los de más alta presión y temperatura que son prácticamente concordantes con los teóricos.

En las proximidades del punto crítico ha sido difi-

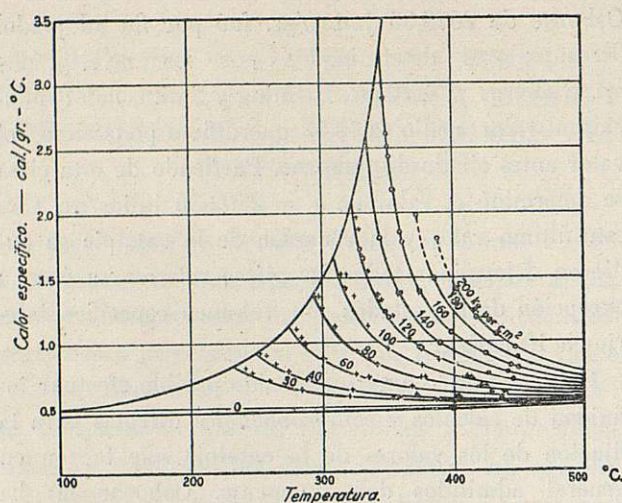


Fig. 2.- Valores del calor específico por Knoblauch y Koch.

cil realizar con exactitud los experimentos, así como analizarlos debidamente. Por lo tanto, existen en esta zona ciertas inexactitudes que no se han podido eliminar completamente.

Con respecto a esta región próxima al punto crítico existen varias fuentes de información, entre las que señalamos como fundamentales las siguientes:

La ecuación de la presión del vapor de Keyes.

Los valores adoptados por la III Conferencia Internacional de Tablas de Vapor para los volúmenes específicos del líquido y vapor saturado.

Los valores de la entalpía del líquido saturado calculados por Osborne y sus colaboradores, así como los de la III Conferencia Internacional de Tablas de Vapor.

Los valores de la entalpía del vapor saturado obtenidos en las mismas fuentes del párrafo anterior.

Mediante los valores calculados partiendo de estas cifras fundamentales se eligieron los valores más dignos en concordancia con la ecuación de Clapeyron para llegar a obtener las curvas principales representativas de la densidad y de la entalpía en la zona inmediata al punto crítico, que se extiende hasta volúmenes específicos del orden de 10 cm³/gr. en la región del líquido y hasta temperaturas de 360° C en la del vapor, estableciéndose para valores comprendidos entre 5 y 10 cm³/gr. una corrección gráfica de la ecuación de estado que permite el cálculo de las propiedades fundamentales por medio de un método mixto gráfico y algébrico análogo al que se utiliza también para líquidos comprimidos.

Los datos aportados por Keyes, Smith y Gerry para esta difícil zona se lograron a intervalos distantes que no permiten desarrollar con todo detalle una fórmula que fuera fácil guía en ella. Havlicek y Miskovsky han facilitado por su parte, mediante experimentos directos, algunos valores sumamente satisfactorios en esta región del punto crítico. Se basa en ellos principalmente la fórmula semigráfica de la entalpía

$$h = m - \frac{n}{p} + \frac{1.000}{p} t + \delta$$

en la cual:

$$m = 265.$$

$$n = 318.000$$

$$t = ^\circ \text{C}$$

$$p = \text{Kg/cm}^2$$

$$\delta = \text{función gráfica de } p \text{ y de } t$$

$$h = \text{cal/gr.}$$

Los valores de la entalpía y el calor específico, deducido de ella a partir de esta fórmula, han coincidido satisfactoriamente con las mediciones que también realizó Koch en el punto crítico, y han servido en general para el establecimiento de las cifras normalizadas hoy en vigor en los Estados Unidos de Norteamérica.

LA VISCOSIDAD DEL VAPOR DE AGUA A MEDIA Y ALTA PRESIÓN

Una de las más notables consecuencias de la teoría cinética de los gases fué la deducción de que la visco-

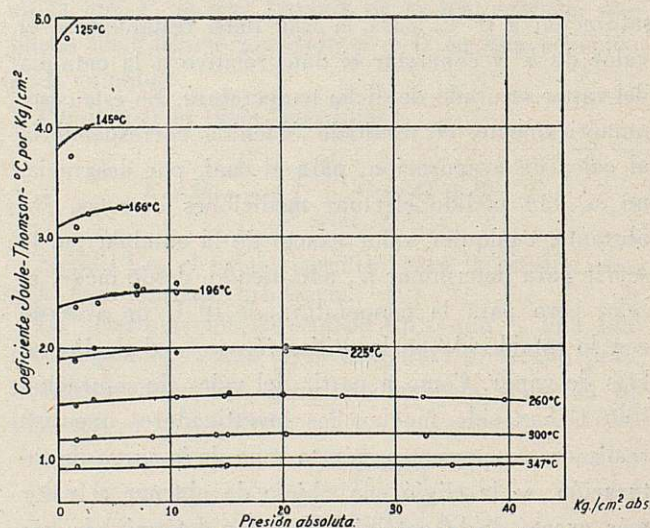


Fig. 3.- Coeficientes Joule-Thomson, según Davis y Kleinschmidt.

sidad de un gas es independiente de la presión y es solamente función de su temperatura. Esta hipótesis fué en realidad confirmada entonces mediante ensayos a baja presión. Más tarde, experimentos efectuados con dióxido de carbono sometido a alta presión han demostrado, sin embargo, que existe evidentemente una cierta influencia debida a la presión. Debe aceptarse como teoría más general, que la viscosidad es una función de la presión y de la temperatura.

Para presiones medias, la función expresiva de la viscosidad puede considerarse subdividida en una función de la presión y en otra dependiente de ella y de la temperatura, a saber:

$$\eta = \eta_0 + f_1(p) + f_2(p, T)$$

Por su parte, Hawkins, Solberg y Potter, en la Universidad de Purdue, al estudiar las condiciones de marcha en la caldera experimental citada anteriormente, hicieron una revisión acerca de la literatura técnica existente acerca de la viscosidad del agua y del vapor a las presiones más elevadas que venían utilizándose en las centrales térmicas más modernas hasta entonces construídas, y comprobaron que los datos existentes eran realmente incompletos y escasos.

La viscosidad del agua era conocida con exactitud para temperaturas inferiores a 100° C, aunque también existían algunos datos sobre experimentos realizados hasta aproximadamente unos 160° C. Para el vapor recalentado a la presión atmosférica se conocía con bastante exactitud su viscosidad, y Speyerer había determinado el efecto ejercido por la presión hasta valores algo superiores a los 10 Kg/cm².

Dada la necesidad ineludible de conocer con la mayor exactitud todos los datos inherentes al cálculo de transmisión del calor y circulación de flúidos en relación con todos los proyectos de calderas, turbinas y tuberías de vapor en alta presión, hubo necesidad de recurrir inmediatamente al campo de la investigación sobre una característica física tan importante para los cálculos citados como lo es la viscosidad. Para ello, se construyó un viscosímetro capaz de efectuar mediciones con agua hasta la temperatura crítica y con vapor hasta presiones de 250 Kg/cm² y temperaturas de 540° C.

Dicho viscosímetro, construído expresamente para estos experimentos, consiste esencialmente en un tubo metálico vertical y cerrado por su parte inferior, den-

tro del cual se puede mover un cilindro metálico de gran peso y de diámetro ligeramente menor que el del tubo envolvente. Al caer el pesado cilindro el flúido que contiene el tubo debe forzosamente circular a través del reducido espacio anular que queda entre ambos.

Como consecuencia de los ensayos realizados se comprobó que la viscosidad era función de la velocidad de caída del peso, de la densidad de éste y de la del flúido que lo rodea, así como también de las dimensiones del viscosímetro.

El tubo fué construído de una aleación de acero con 18 % de cromo, 8 % de níquel y una pequeña proporción de selenio. Su longitud es de unos 584 mm., y su diámetro interior, perfectamente calibrado y pulimentado, es de 10,4 mm. Se lo colocó a su vez coaxilmente en el interior de otro tubo de acero sin soldadura capaz de soportar las más elevadas presiones que iban a emplearse. Este segundo recipiente se montó a su vez sobre soportes, de forma que pudiese girar 180° de manera que el pesado cilindro que se mueve en el interior pudiera volver a su posición de origen. Se lo colocó aislado y provisto de un calentador eléctrico que era capaz de elevar la temperatura del flúido que se había de ensayar hasta temperaturas algo superiores a los 540° C, al propio tiempo que se dispusieron los aparatos necesarios y se tomaron las medidas adecuadas para mejor poder medir las presiones y las temperaturas.

La dificultad mayor con que se tropezó en la construcción y funcionamiento del viscosímetro fué la regulación de la velocidad de caída del cilindro móvil al descender en su interior. Después de diversos experimentos se adoptó para ello un puente eléctrico de corriente alterna, provisto de un circuito amplificador y un miliamperímetro. Para ello se arrollaron al tubo principal dos bobinas, cada una de 60 espiras, espaciadas entre sí unos 355 mm., conectadas en las otras dos derivaciones del puente dos resistencias eléctricas de 10 ohmios cada una y que servían para equilibrarle. Al caer el cilindro y pasar frente a las bobinas, desequilibraba lo suficiente el circuito eléctrico para que se pudiese registrar una oscilación en el gráfico correspondiente del miliamperímetro registrador antes citado. Bastaba para esto alimentar el circuito del puente eléctrico por medio de otro circuito amplificador,

compuesto a su vez de dos amplificadores, de los designados en Estados Unidos como tipo 57, y una válvula triodo (tipo 45) como amplificadora de potencia. La energía eléctrica procedente del amplificador pasaba a través de un transformador y un rectificador hasta llegar por último al miliamperímetro registrador del tipo Esterline-Augus, cuya cinta registradora era accionada por un motor sincrónico. La velocidad de este gráfico era de unos 305 mm. por minuto cuando el tiempo de caída era inferior a 5 minutos y más reducida cuando la velocidad de caída fuese mayor. Las oscilaciones registradas merced al paso del cilindro frente a cada una de las dos bobinas pudieron así observarse en el gráfico con un error inferior a una décima de segundo.

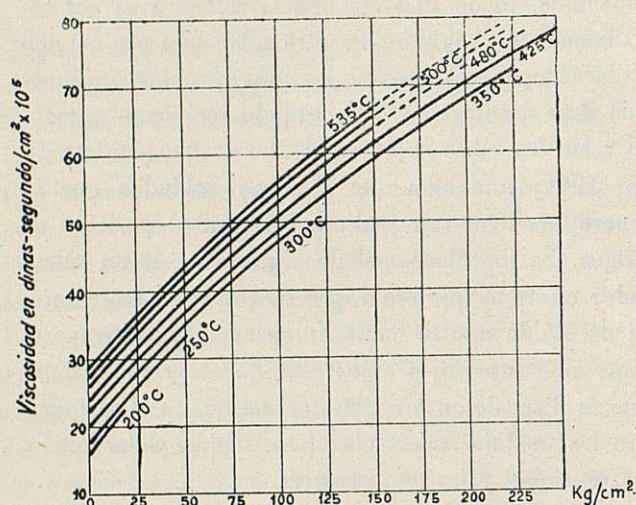


Fig.4 - Viscosidad del vapor recalentado en función de la presión

Las constantes propias del aparato se pudieron determinar midiendo el tiempo de caída del cilindro con agua, dentro de los límites de temperatura en que la viscosidad de ésta era conocida. También se efectuaron comprobaciones con igual objeto utilizando aire en condiciones análogas.

Mediante el empleo de tres cilindros de dimensiones distintas pudo medirse la viscosidad del agua hasta la temperatura crítica de 374,4° C. Puede expresarse el valor de la misma entre los 93,3 y los 374,4° C por medio de la siguiente fórmula:

$$\mu = \frac{54,625}{7,22796 + 1,820245 t + 0,0004175 t^2}$$

expresada en centipoises o unidades absolutas de viscosidad y t la temperatura en grados centígrados.

En los ensayos realizados pudo comprobarse que a partir de 250 Kg./cm² el aumento de la presión sobre el agua no modificaba apreciablemente su viscosidad. Representándose los resultados obtenidos de acuerdo con la figura 4.

Timroth ha realizado también repetidos experimentos para determinar las variaciones de la viscosidad del vapor de agua, pero las cifras por él obtenidas han sido en general bastante inferiores a las de Hawkins, Potter y Solberg.

Para bajas presiones Timroth estableció la relación:

$$\eta_0 = \frac{2,3936 \cdot 10^{-5} \cdot T^{1/2}}{1 + 1039,63 T} \quad (\text{en gr. seg./cm}^2)$$

y para las altas y medias presiones se ha expresado así:

$$\eta = \eta_0 + a \cdot p + c \left[e^{\beta \cdot p^2 \cdot T^{-8}} - 1 \right]$$

en la cual la presión debe medirse en Kg./cm²,

$$a = 1,4 \cdot 10^{-10} \quad \beta = 2,095 \cdot 10^{18} \quad c = 1,9 \cdot 10^{-9}$$

En cuanto a la conductibilidad térmica del vapor, después de los antiguos trabajos de Moser y Milverton, Timroth y Vargaftik han publicado datos más recientes, los cuales han sido comprobados y expresados por la fórmula

$$\lambda = \lambda_0 + c (e^{a \cdot p \cdot T^{-4}} - 1)$$

y en ella

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= 3,191 \times 10^{-6} \cdot T^{1/2} \cdot e^{1,6234 \cdot 10^{-9} \cdot T^2} \\ a &= 1,773 \times 10^9 \\ c &= 2,486 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

y la presión como anteriormente en Kg./cm².

ENSAYOS ACERCA DE LA CORROSIÓN DE ALEACIONES DE ACERO SOMETIDAS A LA ACCIÓN DEL VAPOR DE AGUA A ALTA TEMPERATURA

La preparación de los ensayos

Los experimentos sobre corrosión que vamos a detallar a continuación se efectuaron también en el Laboratorio de la Universidad de Purdue, durante los años 1941 a 1944 con la especial protección del Co-

mité Especial de Investigación de calderas a la presión crítica de la American Society of Mechanical Engineering y con la cooperación de las siguientes empresas, interesadas bajo distintos aspectos en tales pruebas:

The Babcock Wilcox Co., The Detroit Edison Co., The Thinken Roller Bearing Co., The Superheater Co., The National Tube Co., The Crane Co., The International Nickel Co., The Haynes Stellite Corp., The Continental Steel Corp., The General Electric Co., The Combustion Engineering Co. y The Globe Steel Co.

Fueron efectuados bajo la dirección de los citados profesores Solberg Hawkins, Potter y Agnew con importantes colaboraciones técnicas por parte de las mencionadas firmas y del personal del Laboratorio de la Universidad citada.

CORROSIÓN DE ACEROS NO SOMETIDOS A Tensión MECÁNICA

Antecedentes.

Como la temperatura de utilización del vapor de agua en las modernas centrales térmicas se aproxima mucho a la de producción comercial del hidrógeno, mediante reacción entre el vapor de agua y el hierro, la Universidad de Purdue emprendió una serie de investigaciones sobre muestras de acero disponibles para su empleo a altas temperaturas con objeto de estudiar la corrosión de las mismas por la acción del vapor de agua. Para ello se desarrollaron diversas técnicas y se construyeron distintos aparatos capaces de comprobar tales efectos hasta temperaturas de unos 650° C y presiones del orden de 115 Kg./cm².

Los datos anteriormente obtenidos, que fueron presentados en 1937, demostraron que hasta temperaturas próximas a los 600° C el grado de oxidación producido en aceros con pequeña proporción de carbono era independiente de las presiones empleadas que oscilaron entre los 30 y los 85 Kg./cm² aproximadamente.

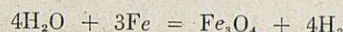
Los trabajos han continuado más tarde, y se han publicado en noviembre de 1941 diversos datos sobre el particular, que se han referido a la determinación del grado de corrosión en distintas clases de superficies pulidas, así como en relación con la forma de elimi-

nar las capas corroídas. Se emplearon primeramente temperaturas muy cercanas a los 600° C durante intervalos variables de tiempo hasta alcanzar las 2.000 horas. También se realizaron pruebas por un espacio de tiempo de 500 horas y con temperaturas fijas del vapor comprendidos en los diversos casos entre 535 y 705° C.

Las observaciones efectuadas mostraron también la influencia de las oscilaciones de la temperatura lo mismo en barras cilíndricas, como superficies planas, cóncavas y convexas, así como también con respecto a los aceros moldeados y a distintas aleaciones especiales.

Procedimientos y aparatos utilizados en los ensayos.

La reacción que se produce al actuar el vapor de agua sobre el hierro



nos indica que el grado de corrosión podría medirse conociendo la cantidad de hidrógeno que se desprende. Pero, si se tiene en cuenta la oclusión de los gases en el acero y la permeabilidad de éste a la penetración del hidrógeno, se comprende fácilmente que este procedimiento no puede ser muy exacto ni adecuado para la determinación citada.

Se intentó después otro medio, consistente en la eliminación de la capa corroída por la acción del ácido clorhídrico, trióxido de antimonio y cloruro estannoso. Sin embargo, esta posible solución del problema no tuvo tampoco buen éxito para los aceros con alta proporción de cromo y en cambio pudo emplearse satisfactoriamente con aceros de pequeña proporción de carbono.

Se efectuaron diversas combinaciones de ácidos e inhibidores con objeto de encontrar la más adecuada para poder quitar la costra formada durante la corrosión, tanto para el caso de acero con bajo contenido de carbono como con elevada proporción de cromo. Para la preparación de las mezclas se emplearon ácido nítrico concentrado, sulfúrico y clorhídrico, así como varios tipos de inhibidores. Pudo así comprobarse que una disolución de ácido sulfúrico al 54 por 100 con 0,1 por 100 de quinoleína podría eliminar la parte corroída sin atacar apreciablemente la aleación original.

CUADRO N.º 1

Acción sobre los aceros con pequeña proporción de carbono de las mezclas de ácidos con varios inhibidores

Inhibidor cm ³ /l	Pérdidas de peso en mgr/cm ² durante seis horas a temperatura ambiente									
	Acido clorhídrico concentrado						Acido sulfúrico al 34 por 100			
	Rodina n.º 101	Rodina n.º 102	Di-n Amila- mina	Tri-n Amila- mina	Tri-n Butila- mina	Nep n.º 22	Di-n Amila- mina	Tri-n Amila- mina	Tri-n Butila- mina	Nep n.º 22
0,00	95,50	—	—	—	—	—	26,41	—	—	—
0,25	10,60	4,71	—	—	—	—	—	—	—	—
0,40	—	—	46,80	44,95	52,19	11,33	—	7,88	19,15	—
0,50	3,88	2,20	—	—	—	—	—	—	—	0,28
0,80	—	—	40,51	47,51	44,92	9,76	7,84	10,15	12,13	—
1,00	1,41	1,50	43,22	41,68	39,80	—	6,96	6,22	11,20	0,18
1,50	—	—	—	—	—	9,01	—	—	—	—
2,00	0,74	1,18	35,91	38,10	30,96	9,11	2,09	5,17	4,56	0,16
5,00	0,46	1,02	16,79	7,28	22,01	7,25	1,92	4,02	1,30	0,15
7,50	0,40	0,94	—	—	—	5,92	—	—	—	0,11
8,00	—	—	12,25	5,73	13,61	—	0,99	3,21	1,61	—
10,00	0,31	0,73	11,86	5,13	11,24	4,87	0,54	2,68	1,05	0,11

Como resultado de estos experimentos se recopilaron los datos expresados en el siguiente cuadro número 1, en el que no está incluida la citada combi-

[CUADRO N.º 2

Acción de las disoluciones ácidas de quinoleína sobre los aceros con baja proporción de carbono

Quinoleína gr/l	Pérdida de peso en mgr/cm ² durante seis horas a la temperatura ambiente	
	Acido sulfúrico al 34 por 100	Acido clorhídrico concentrado
0,10	0,455	—
0,20	0,310	62,75
0,50	—	60,45
0,75	0,232	57,50
1,00	0,186	53,25
1,50	—	40,00
2,00	0,139	35,55
2,50	—	15,97

nación de ácido sulfúrico al 34 por 100 con 0,1 por 100 de quinoleína.

El tiempo de duración de estas pruebas fué siempre de 6 horas y la temperatura durante ella fué en todos los casos la normal ambiente.

En cuanto a la acción de la quinoleína, fué muy notable cuando se la mezcló con ácido clorhídrico concentrado y sumamente débil al emplearlo con sulfúrico, llegando a ser cada vez menor al aumentar la temperatura, de forma que a los 45° C era casi inapreciable. El cuadro número 2 nos muestra claramente lo expuesto.

En cambio, no fué posible encontrar ninguna solución ácida mezclada con quinoleína que fuera capaz de eliminar la parte corroída de diversas muestras de ace-

ro con 12 por 100 de cromo, sin que fuera atacado el metal básico, contrariamente a los resultados logrados con los aceros al carbono.

Se intentó también suprimir la costra corroída por medio de hidrógeno a elevada temperatura, y determinar después la diferencia de peso experimentada para comprobar la cantidad de oxígeno existente en los productos de la corrosión. Sin embargo, este método hubo de ser desechado como consecuencia de la gran estabilidad del óxido de cromo.

Por último, se ensayó un procedimiento electrolítico para separar la zona corroída, que permitió eliminar completamente dicha costra en los aceros con débil proporción de carbono, mediante una disolución de ácido sulfúrico al 10 por 100 y 1 gramo por

CUADRO N.º 3

Resistencia de la electrólisis de la disolución ácida de quinoleína para la eliminación de la capa corroída de aleaciones de acero

(Densidad de corriente aproximada, 15 A/dm². Duración, 30 min)

Número de la muestra	Peso de la muestra en gramos		
	Antes del ensayo	Después del ensayo	Pérdida de peso en gramos
1	143,264	143,234	0,030
2	147,442	147,402	0,040
3	148,642	148,628	0,014
4	146,292	146,274	0,018
5	146,102	146,078	0,024
6	144,298	144,270	0,028
7	145,060	145,016	0,044

litro de quinoleína, haciendo pasar una intensidad de corriente de unos 15 A por decímetro cuadrado y a la temperatura ambiente. Con una densidad de corriente doble de la anterior se pudieron limpiar satis-

factoriamente otras muestras de acero inoxidable 18-8. Después se hicieron pruebas para atacar al metal, una vez eliminada la costra corroída, con ácido sulfúrico al 10 por 100 y densidad de corriente de unos 30 amperios por decímetro cuadrado, se observó muy pequeña pérdida de peso, pero el color algo oscuro del metal indicaba la existencia de una cierta oxidación superficial. Posteriormente se hicieron pruebas para comprobar el efecto de la temperatura, y se observó que hasta unos 45° C el ataque no era superior que a la temperatura ambiente, y con temperaturas más altas era fácilmente perceptible. El cuadro núm. 3 contiene los resultados obtenidos con una serie de muestras de acero al carbono sometidas a la limpieza electrolítica durante treinta minutos y a la temperatura ambiente.

En definitiva, el procedimiento que fué adoptado para determinar el grado de corrosión producido por la acción del vapor fué el siguiente:

- Pasar las muestras limpias antes de exponerlas a la acción del vapor.
- Eliminar la costra corroída por el método electrolítico.
- Volver a exponer las muestras a la acción del vapor a alta temperatura y repesarlas nuevamente.

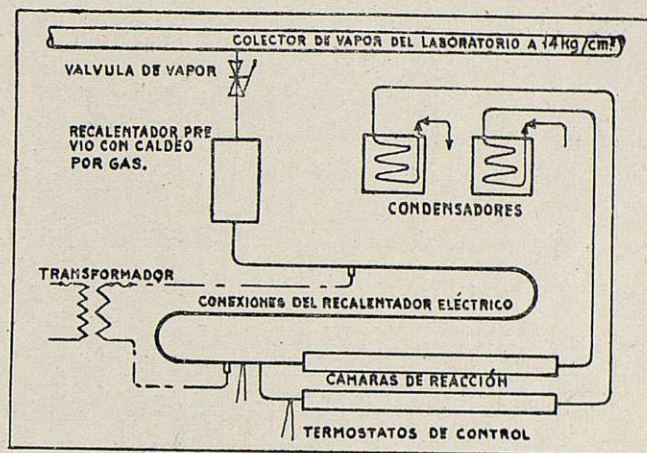
La disolución electrolítica estaba constituida por ácido sulfúrico al 10 por 100 con 1 gramo de quinoleína por cada litro de la misma, y se empleó como cátodo la muestra que se ensayaba.

El tiempo requerido para la limpieza electrolítica completa, con densidad de corriente de unos 15 A/dm², se determinó para distintos casos, variando el contenido de cromo de las muestras, a saber:

Clase de acero	Tiempo en horas
S. A. E. 1010	0,5
4-6 Cromo-molibdeno	1,0
12 Cromo	2,0
18-8	4,0

Para la preparación de las primeras muestras se utilizó tubo de acero de 38 mm. de diámetro exterior y 25,4 mm. de diámetro interior, en trozos de 152 mm. de diámetro interior, en trozos de 152 mm. de longitud. Como ánodo empleóse durante la electrólisis una varilla de platino. Pero como consecuencia de las dificultades inherentes a la observación del interior de la

superficie corroída se adaptó en general un tipo de muestras obtenidas de barras de acero, las cuales se colocaban en un recipiente de plomo que hacía las veces de ánodo y sobre aisladores, y se agregaba la di-



ESQUEMA GENERAL DE LA DISPOSICION DE LOS APARATOS
Fig. 5

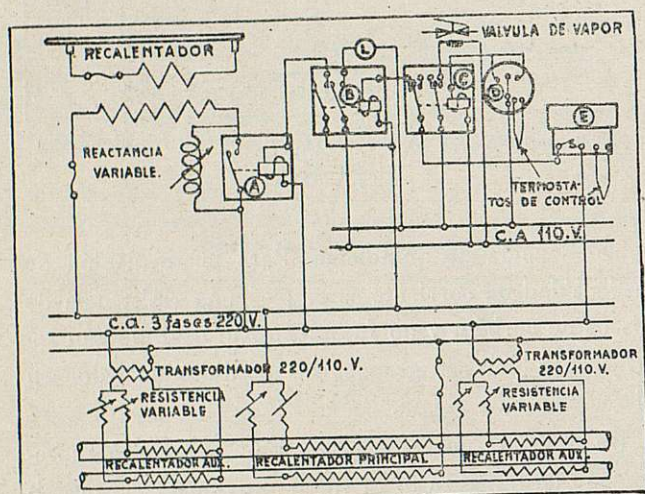
solución ácida de quinoleína. Para la regulación de la densidad de corriente se empleó una resistencia de discos de carbón, y no fué preciso utilizar ningún refrigerador por ser grandes las pérdidas de calor en el recipiente de plomo.

Un esquema de los aparatos empleados está representado en la figura 5. El vapor proveniente del circuito del laboratorio a la presión de 14 Kg./cm² pasa a través de un recalentador de gas del tipo de contracorriente, en donde se instaló un par termoelectrónico para comprobar la temperatura del vapor a la salida del mismo. Después se lo hacía pasar a través de un tubo de acero inoxidable tipo 18-8 de unos 16 mm. de diámetro exterior y 9,6 mm. interior y una longitud de 20 m., cuyos extremos estaban conectados a un transformador, con lo cual el tubo quedaba convertido en un recalentador eléctrico auxiliar en donde se terminaba el recalentamiento final del vapor.

Al salir del recalentador eléctrico la corriente del vapor se dividía en dos partes que circulaban a través de dos trozos de tubería del tipo extrapesado de 50 mm. de diámetro y 5 m. de longitud, utilizados como cámaras de ensayo, cuyo extremo se ajustaba en un soporte de tubo normal para facilitar la sujeción de las distintas muestras. Al salir de ellas el vapor

pasa por un condensador de tubos de cobre, y se pesa periódicamente el agua condensada con objeto de poder mantener un caudal adecuado de vapor, el cual puede regularse mediante un cierto número de válvulas convenientemente dispuestas y se mide la presión en cada una de las secciones por medio de un manómetro tipo Bourdon.

Dichas cámaras de ensayo o reacción estaban rodeadas de tres resistencias eléctricas de alambre «chromel» número 13, convenientemente aislado, de ellas las de los extremos son de 1,2 m. de longitud y la central de 2,4 m. Los tubos y calentadores eléctricos se cubrieron de tejas curvas sobre las que se colocó una



DISPOSICIÓN ESQUEMÁTICA DE LOS APARATOS ELÉCTRICOS.

Fig. 6.

capa de tierra refractaria para aislarlos térmicamente, situando pares termoelectrónicos en cada sección.

La figura 6 nos indica la disposición del equipo eléctrico que se empleó. La temperatura del vapor al salir del calentador eléctrico se mantiene constante por medio de un interruptor magnético y un termostato de comprobación. En la parte inferior pueden observarse los calentadores auxiliares, así como el principal, arrollados sobre las cámaras de reacción. Los primeros trabajan a la tensión de 110 V y el segundo a la de 220 V unido directamente a la línea. Está equipado cada uno con una resistencia variable que pueda mantener la temperatura deseada en los tubos, análoga a la del vapor que circula por ellos.

El circuito principal del calentador eléctrico está

representado en la parte superior izquierda de la figura. Se utiliza en él un devanado de un transformador usado para el primario a 2.300 V y se emplean para el secundario muy pocas espiras. El devanado de baja tensión a 220 V se conecta a un contactor magnético (A) y a una reactancia variable. Cuando el interruptor magnético se abre, sólo circula por el circuito del calentador una parte de la intensidad máxima, de forma que cerrándolo y abriéndolo intermitentemente puede mantenerse una temperatura prácticamente constante en el calentador. La regulación que precisa dicho contactor está especificada en la parte superior derecha del dibujo, a saber: el par termoelectrónico situado en la línea de alimentación del calentador acciona un regulador (E), que a su vez actúa sobre el interruptor magnético (A) por medio del «relé» (E), que a su vez abre y cierra el circuito del transformador conectado al calentador eléctrico. El «relé» (C) conjuntamente con el regulador de emergencia (D) se utilizan para actuar sobre la válvula que, situada en la conducción del vapor, puede suministrar eventualmente vapor al calentador.

Para temperaturas reducidas o elevadas en el citado calentador, el regulador (D) actúa sobre el «relé» (C), que a su vez abre el interruptor magnético (A) y también sobre la bobina conectada con la válvula de cierre rápido de vapor en la tubería de llegada de éste. Pueden mantenerse las muestras tratadas a la temperatura deseada durante la prueba.

Los diversos termostatos se unieron a un cuadro general de baquelita mediante conexiones de alambre de plomo. Pueden efectuarse las lecturas de la temperatura merced a un potenciómetro transportable.

Muestras utilizadas y su tratamiento térmico.

Todas las muestras normales utilizadas, que no debían tener superficies pulidas, se frótaron con arena, se pesaron después y colocándolas en las cámaras de reacción. Los diversos trozos de barras de acero se montaban sobre anillos de igual forma para situarlas de manera adecuada en los tubos que servían de cámara de ensayo. Después de la prueba se quitaron los soportes y la parte corroída, para volverlos a pesar nuevamente.

Si las muestras habían tenido que sufrir largo al-

macenamiento se las encerraba en un recipiente con cloruro cálcico y provisto de un orificio para la admisión de nitrógeno, y se las manejaba siempre con guantes y se evitaba manipularlas lo menos posible. Todas ellas fueron marcadas convenientemente con un número para facilitar su identificación, y se anotaba también su posición en la cámara de reacción y con respecto a los pares termoeléctricos.

Con excepción de las muestras de acero moldeado todas las demás sufrieron un cierto tratamiento térmico previo. Para los aceros de bajo contenido en carbono se siguió un recocido hasta unos 780° C, para enfriarlos después lentamente hasta la temperatura de 650° C, disminuyendo a razón de unos 45° C por cada hora, hasta continuar decreciendo hasta alcanzar la temperatura ambiente. Los aceros inoxidables con alta proporción de cromo llegaron a alcanzar temperaturas de 1.066° C durante el proceso de recocido, y se enfriaron después en agua. Hubo algunas muestras de aceros especiales que se sometieron a los tratamientos expresamente indicados por sus fabricantes, pero sin alcanzar temperaturas muy distintas a las antes señaladas.

En cuanto a los aceros moldeados se emplearon los tratamientos siguientes:

Calidad	Tratamiento térmico
Acero al carbono.....	Recocido a 900° C por espacio de 4 horas, enfriamiento en el horno hasta 370° C y después al aire hasta temperatura ambiente.
Carbono-molibdeno	Recocido a 980° C durante 4 horas, después otras 4 horas a 650° C y enfriamiento final al aire a temperatura ambiente.
Cromo-níquel-molibdeno ..	Recocido durante 4 horas a 940° C, después 5 horas a 840° C más 4 horas a 650° C y enfriamiento al aire a temperatura ambiente.
5 cromo-molibdeno	Recocido a 980° C unas 4 horas, a 870° C durante 3 horas seguidas de 4 horas a 690° C y enfriamiento al aire a temperatura ambiente
9 cromo-1,5 molibdeno....	Recocido a 990° C por 4 horas, más otras tantas a 900° C e igual tiempo a 700° C.

Ensayos preliminares con tubos de acero de bajo contenido en carbono.

Como primera parte del programa general de ensayos se decidió una serie de pruebas en tubos de acero, con escasa proporción de carbono, que fueron sometidos a un tratamiento térmico previo.

Se utilizaron para ello doce muestras idénticas de tubo de 25,4 mm. de diámetro interior y 38 mm. exterior de la calidad Siemens Martin S. A. E. 1015, que fueron frotadas con arena y colocadas en la cámara

CUADRO N.º 4

Corrosión de tubos de acero con bajo contenido de carbono en contacto con vapor a 595° C durante 120 horas

Número de la muestra	Pérdida de peso en gramos	Temperatura en ° C	Variación media de la pérdida peso en %
17-1	5,650	593	— 16,07
20-2	6,544	593	— 2,79
21-2	7,222	592	+ 7,28
31-4	6,306	589	— 6,33
25-3	6,555	588	— 2,63
18-1	6,582	588	— 2,23
19-1	6,677	589	— 0,82
32-5	6,837	589	+ 1,56
28-3	6,918	593	+ 2,76
29-3	7,013	593	+ 4,17
30-3	7,079	592	+ 5,15
27-3	7,405	591	+ 10,00

de reacción a la temperatura de 595° C con vapor a igual temperatura durante unas 120 horas, en las cuales las oscilaciones de temperatura fueron de $\pm 3^\circ$ C.

Los resultados recogidos durante esta prueba están detallados en el cuadro núm. 4 y, según ellos, el procedimiento seguido para eliminación de la capa corroída fué completamente satisfactorio.

Influencia de la duración de las pruebas sobre el grado de corrosión alcanzado en tubos de acero.

Partiendo de una serie de cinco tubos de acero de aleaciones distintas se efectuó una prueba a la temperatura de 595° C con un error de $\pm 3^\circ$ C, por es-

CUADRO N.º 5

Corrosión de tubos de acero en contacto con vapor a 595° C por espacio de 100, 200, 500 y 1.000 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %								
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Co
Bajo % carbono	0,1 — 0,2	0,3 — 0,6	0,045	0,055	—	—	—	—	—
C-Mo	0,13	0,48	0,013	0,013	0,25	—	—	0,51	—
4-6 Cr-Mo	0,09	0,46	0,030	0,030	0,30	4,75	—	0,55	—
12 Cr	0,04	0,75	0,026	0,025	0,31	11,69	0,7	0,31	—
18-8 Co	0,06	0,58	0,016	0,014	0,38	17,29	12,2	—	0,68

Clase de acero	Duración de la prueba							
	100 horas		200 horas		500 horas		1.000 horas	
	N.º de muestras	Pérdida media de peso Gramos	N.º de muestras	Pérdida media de peso Gramos	N.º de muestras	Pérdida media de peso Gramos	N.º de muestras	Pérdida media de peso Gramos
Bajo % carbono	2	4,43	3	8,17	—	—	3	9,28
4-6 Cr-Mo	2	5,07	—	—	2	7,75	2	8,76
C-Mo	2	4,57	—	—	2	6,53	3	8,29
12 Cr	1	1,14	2	1,54	1	0,79	3	1,65
18-8 Co	2	0,34	3	0,16	2	0,91	2	0,25

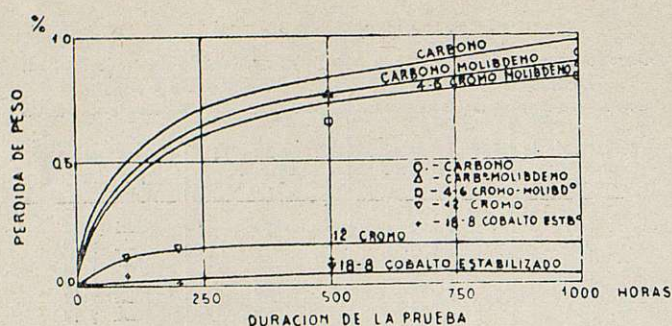


Fig. 7.-CORROSIÓN DE TUBOS DE ACERO EN CONTACTO CON VAPOR A 595°C.

pacios de 100, 200, 500 y 1.000 horas, con objeto de determinar el posible efecto que la duración de los ensayos podía ejercer sobre el grado de corrosión experimentado por las muestras. Los resultados obtenidos se han recopilado en el cuadro núm. 5.

Las muestras de cada aleación, después de adaptadas a las dimensiones convenientes, fueron frotadas con arena y colocadas en la cámara de reacción, y se han registrado también los resultados obtenidos según las curvas que comprende la figura 7.

Algunos resultados de carácter anormal que fueron observados hay que atribuirlos a la desigual distribución de la temperatura y a la dificultad de poder asegurarse de la desaparición completa de la costra corroída en la parte interior de los tubos. A pesar de ello la prueba demostró la extraordinaria influencia del contenido de cromo sobre los efectos de la corrosión producida.

Como consecuencia de la dificultad aludida sobre la eliminación de la parte interior corroída se decidió utilizar barras de acero en los siguientes ensayos.

Influencia de la calidad de las superficies expuestas a la acción del vapor.

Una vez adoptado el tipo de muestras bajo forma de barras normales, con superficies perfectamente accesibles, se efectuó un estudio para poder determinar con conocimiento de causa si era o no conveniente el frotar con arena las superficies de las muestras objeto del ensayo.

Con tal objeto se prepararon 39 muestras de acero S. A. E. 1020 de 12,7 mm. de diámetro, de las cuales veintiuna fueron recocidas a la temperatura de 830° C.

durante 30 minutos y enfriadas después al aire hasta la temperatura ambiente. De éstas, catorce fueron frotadas con arena y siete fueron hervidas en agua destilada durante 24 horas y sometidas después a una limpieza con una mezcla de éter y alcohol etílico (95 por 100) inmediatamente antes de someterlas a la prueba. De las muestras recocidas siete fueron sometidas a un trabajo en frío con objeto de endurecerlas y torcerlas, y se las frotó finalmente con arena, y otras cuatro fueron frotadas con arena y golpeadas después con martillo.

CUADRO N.º 6

Efectos de recocido, trabajo en frío y pulido de superficies sobre la corrosión de acero S. A. E. 1020 en contacto con vapor a 595° C durante 500 horas

Preparación de las muestras	Temperatura media ° C	Pérdida de peso por muestra Gramos	Pérdida media de peso Gramos	Máxima diferencia de peso con respecto a la pérdida media %	Pérdida de peso referida a la muestra recocida, etc. Gramos
Recocida y frotada con arena	592	1.862 1.827 1.870 1.875 1.714 1.733 1.899	1.826	6.13	1.000
Recocida y pulida	593	1.988 2.024 2.175 1.950 2.307 2.256 2.305	2.144	9.03	1.172
Recocida, frotada con arena hervida con agua destilada y limpiada con éter y alcohol etílico	593	1.813 1.784 1.957 1.945 2.283 2.290 2.267	2.048	12.90	1.121
Sin recocer y frotada con arena	592	2.030 1.868 1.844 1.929 2.003 1.935 1.869	1.925	5.45	1.055
Sin recocer, trabajada en frío y frotada con arena	592	2.013 2.035 2.008 2.012 1.917 1.890 1.908	1.969	4.02	1.078
Sin recocer, frotada con arena y trabajada con martillo	592	2.075 2.038 2.149 2.111	2.093	2.67	1.149
Valor medio de todas las muestras	—	1.995	1.995	—	1.091

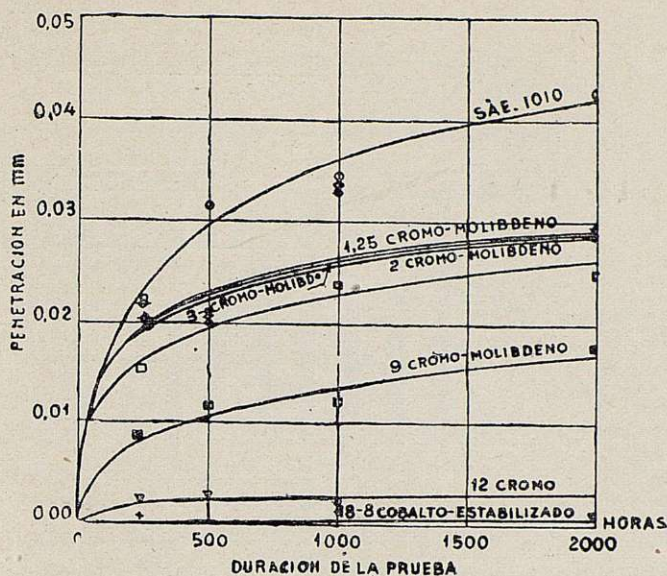


Fig. 8- CORROSION DE BARRAS DE ACERO EN CONTACTO DE VAPOR EN 595°C DURANTE 200.-500.-1000 Y 2000 HORAS

Después de la anterior preparación previa fueron sometidas a la acción del vapor de agua a la temperatura de 595° C por espacio de 500 horas.

Los resultados obtenidos, que se han agrupado en el cuadro núm. 6, indican que el procedimiento adop-

tado de reconocer y frotar las muestras con arena era satisfactorio.

Influencia del tiempo de duración de los ensayos sobre las barras de acero tratadas.

Para determinar la influencia del tiempo de duración de las pruebas, sobre las barras de acero expuestas a la acción del vapor de agua, se emplearon distintas aleaciones que fueron sometidas a la acción del mismo a la temperatura de 595° C en cuatro ensayos distintos con duración de 200, 500, 1.000 y 2.000 horas respectivamente de acuerdo con los datos recopilados en el cuadro núm. 7.

Gráficamente se han reunido las cifras obtenidas en la figura 8.

Se deduce de dichos resultados que, en general, el grado de corrosión decrece al aumentar la proporción de cromo contenido en la aleación de acero ensayado, de forma que los que contienen una alta proporción de dicho metal son prácticamente resistentes a la corrosión.

Se observó también que la corrosión es sumamente rápida durante las 100 horas primeras, a partir

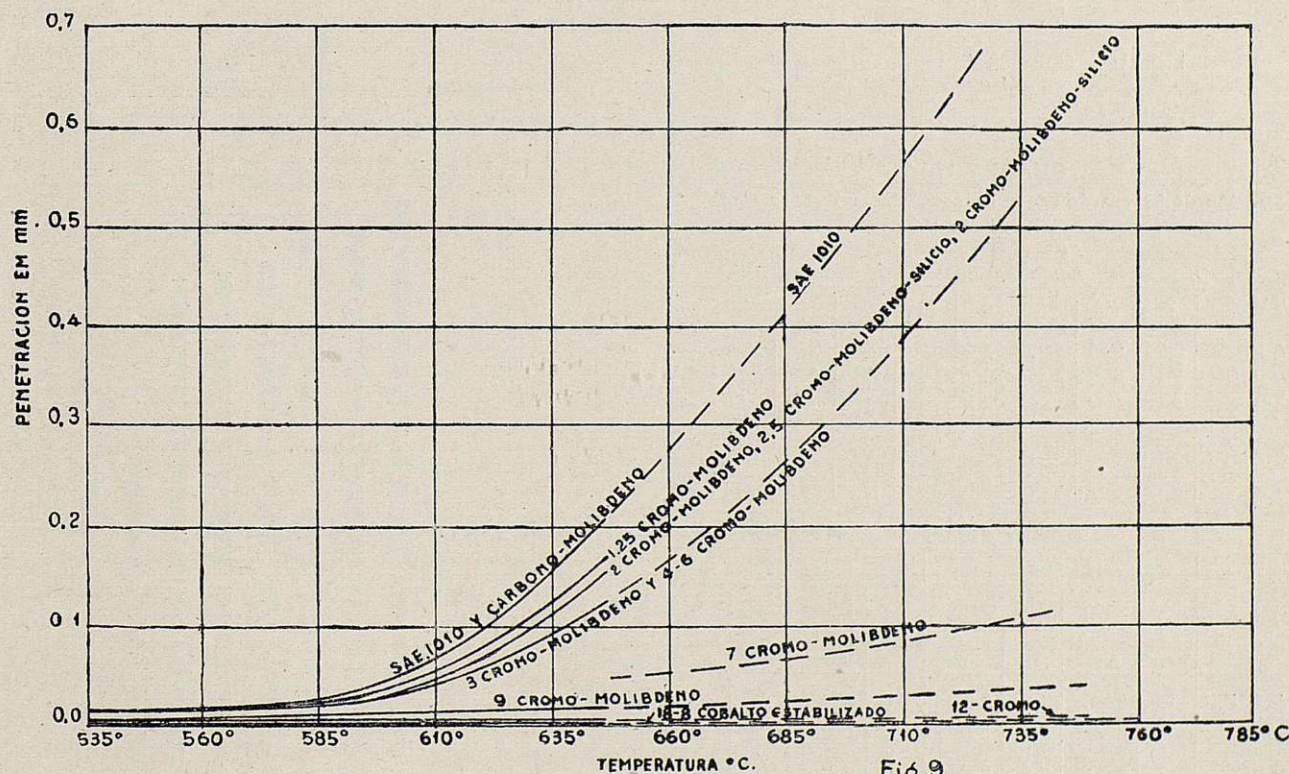


Fig. 9
CORROSION DE BARRAS DE ACERO EN CONTACTO CON VAPOR DURANTE 500 HORAS

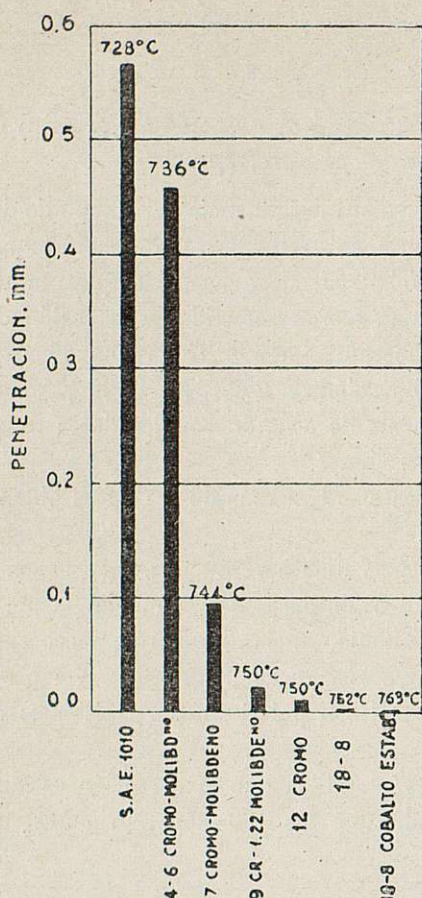


Fig. 10.- CORROSION DE ACEROS EN CONTACTO DE VAPOR DURANTE 300 HORAS

CUADRO N.º 7

Corrosión de barras de acero en contacto con vapor a 595° C durante 200, 500, 1.000 y 2.000 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %								
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Co
S. A.E. 1010.	0,08	0,30	0,017	0,034	—	—	—	—	—
C-Mo.	0,15	0,44	0,014	0,025	0,17	—	—	0,54	—
1,25 Cr-Mo..	0,11	0,43	0,012	0,012	0,80	1,22	—	0,53	—
2 Cr-Mo. ...	0,11	0,47	0,017	0,016	0,40	1,98	—	0,51	—
3 Cr-Mo. ...	0,11	0,51	0,014	0,016	0,36	2,95	—	0,98	—
4-6 Cr-Mo. ...	0,12	0,41	0,017	0,016	0,28	4,60	—	0,54	—
9 Cr-Mo. ...	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	—	1,22	—
12 Cr.	0,05	1,19	0,021	0,025	0,38	11,92	—	—	—
18-8 Co. ...	0,07	0,36	0,015	0,012	0,39	18,62	9,9	—	1,11

Clase de acero	Duración de la prueba							
	200 horas		500 horas		1.000 horas		2.000 horas	
	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm
S. A.E. 1010	18	0,0209	8	0,0314	13	0,0342	16	0,0432
C-Mo.	—	—	—	—	—	—	—	—
1,25 Cr-Mo.	6	0,0200	4	0,0202	6	—	8	0,0297
2 Cr-Mo. ...	8	0,0187	8	0,0206	5	0,0343	8	0,0295
3 Cr-Mo. ...	7	0,0189	5	0,0206	8	0,0342	8	0,0287
4-6 Cr-Mo. ...	6	0,0153	—	—	5	0,0239	8	0,0242
9 Cr-Mo.	3	0,0082	4	0,0116	7	0,0123	4	0,0176
12 Cr.	8	0,0024	3	0,0030	8	0,0023	4	0,0011
18-8 Co.	8	0,0005	4	0,0005	8	0,0020	8	0,0003

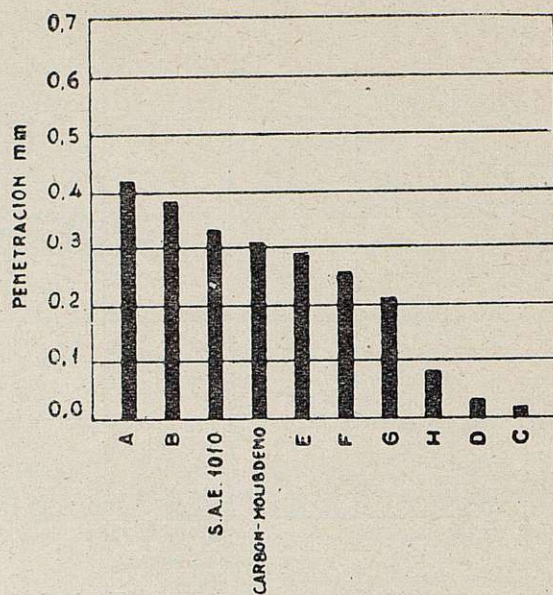


Fig. 11.- CORROSION DE ACEROS EN CONTACTO CON VAPOR A 595°C. DURANTE 500 HORAS

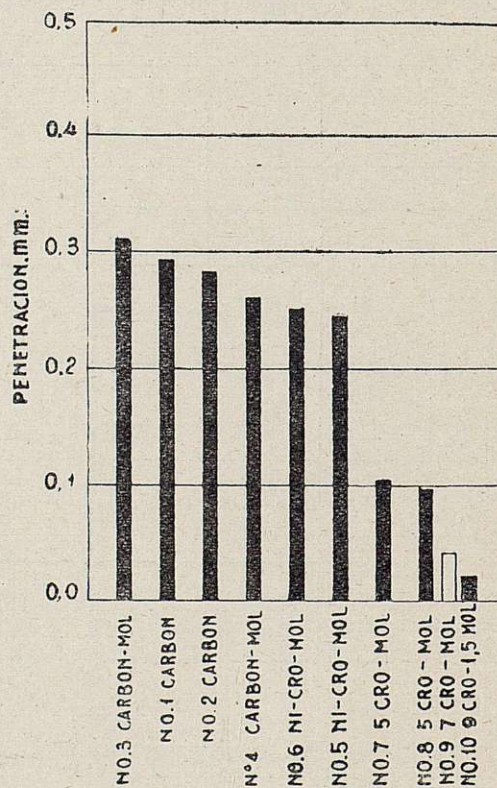


Fig. 12.- CORROSION DE ACEROS EN CONTACTO CON VAPOR A 650°C DURANTE 570 HORAS

de las cuales la capa corroída retrasa ya la continuación de la oxidación con temperatura fija. Al final de la prueba se comprobó que del 65 al 80 por 100 de la corrosión producida lo fué durante las primeras 500 horas.

Influencia de la temperatura del vapor sobre la corrosión de barras de acero.

Para poder observar la influencia de la temperatura del vapor sobre la corrosión de barras de acero, se realizó también en el mencionado laboratorio de la Universidad de Purdue, y con la colaboración de los profesores de la misma citados anteriormente, otra prueba relacionada con la corrosión de aleaciones de aceros no sometidos a esfuerzos mecánicos especiales y que comprendió otra serie de ensayos mantenidos por igual espacio de tiempo en todas las muestras, in-

cluyendo algunos aceros al carbono molibdeno. Se recopilan los resultados obtenidos en el cuadro núm. 8.

El tratamiento de las muestras se realizó en la forma normal, variando convenientemente las temperaturas. Se han representado los resultados gráficamente en la figura núm. 9 en curvas de trazo lleno.

Puede observarse que, a excepción de los aceros con alto contenido de cromo, la corrosión aumenta muy rápidamente hasta temperaturas del orden de los 595° C y, en cambio, en los de gran proporción de cromo sufrieron muy poca corrosión hasta con temperaturas de 650° C.

Para poder comprobar el comportamiento de los aceros de elevado tenor de cromo, se efectuó una prueba especial hasta temperaturas del orden de 750° C, sometiendo siete muestras a la acción del vapor por espacio de 300 horas, ya que ciertas dificultades que

CUADRO N.º 8
Corrosión de aceros en contacto con vapor a 728 y 863° C durante 300 horas

Clase de acero	Análisis químico de la fusión %									Temperatura °C	N.º de muestras	Penetración media mm
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Co			
S. A. E. 1010.....	0,08	0,30	0,017	0,034	—	—	—	—	—	728	4	0,0569
4-6 Cr-Mo.....	0,12	0,41	0,017	0,016	0,28	4,60	—	0,54	—	736	4	0,0460
7 Cr-Mo.....	0,11	0,43	0,012	0,011	0,92	7,33	—	0,59	—	744	4	0,0096
9 Cr-Mo.....	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	—	1,22	—	750	4	0,0022
12 Cr.....	0,10	0,51	0,022	0,029	0,40	12,70	—	—	—	750	4	0,0005
18-8 Co.....	0,08	0,36	0,015	0,012	0,39	18,62	9,90	—	1,11	752	4	—
18-8.....	0,08	1,13	0,014	0,078	0,39	18,79	9,08	0,27	—	763	2	—

CUADRO N.º 9
Corrosión de aceros en contacto con vapor a 595° C durante 500 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %											N.º de muestras	Penetración media mm
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Al	Cu	Va		
S. A. E. 1010...	0,08	0,30	0,017	0,034	—	—	—	—	—	—	—	16	0,0043
C-Mo.....	0,15	0,44	0,014	0,025	0,17	—	—	0,54	—	—	—	16	0,0031
Aleación A.....	—	1,43	—	—	1,72	2,44	14,56	—	—	6,39	—	6	0,0042
Aleación B.....	0,18	0,52	—	—	0,24	1,23	—	0,23	1,18	—	—	6	0,0038
Aleación C.....	0,07	0,24	—	—	1,10	11,57	0,17	1,02	—	—	—	9	0,0002
Aleación D.....	0,06	0,28	—	—	0,34	12,02	0,12	1,16	—	—	—	8	0,0003
Aleación E.....	0,17	0,50	—	—	0,67	1,79	—	0,69	—	—	—	12	0,0029
Aleación F.....	0,20	0,46	—	—	0,16	0,96	—	—	—	—	1,15	12	0,0027
Aleación G.....	0,09	0,32	—	—	0,62	0,74	0,31	—	—	0,35	—	11	0,0017
Aleación H.....	0,11	0,38	—	—	0,27	9,80	—	1,22	—	—	—	11	0,0008

CUADRO N.º 10
Corrosión de aceros en contacto con vapor a 650° C durante 570 horas

N.º de la muestra	Clase de acero	Análisis químico en la fusión %								N.º de muestras	Penetración media mm
		C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo		
1	C.....	0,24	0,95	0,020	0,010	0,14	—	—	—	2	0,0300
2	C.....	0,25	0,75	0,022	0,018	0,44	—	—	—	2	0,0289
3	C-Mo.....	0,21	0,64	0,020	0,012	0,43	—	—	0,49	2	0,0318
4	C-Mo.....	0,20	0,71	0,020	0,015	0,37	—	—	0,49	2	0,0266
5	Ni-Cr-Mo.....	0,35	0,61	0,021	0,010	0,45	0,64	2,13	0,26	2	0,0252
6	Ni-Cr-Mo.....	0,28	0,62	0,018	0,010	0,44	0,73	0,73	0,26	2	0,0257
7	5 Cr-Mo.....	0,22	0,65	0,032	0,010	0,77	5,07	—	0,47	1	0,0109
8	5 Cr-Mo.....	0,27	0,63	0,026	0,010	0,87	5,49	—	0,43	2	0,0100
9	7 Cr-Mo.....	0,11	0,43	0,012	0,011	0,92	7,33	—	0,59	2	0,0044
10	9 Cr-1,5 Mo...	0,23	1,05	0,032	0,015	0,84	9,09	—	1,56	5	0,0022

surgieron y que afectaron al funcionamiento de los recalentadores impidieron aumentar la duración de dicha prueba, de la cual se han recogido los distintos resultados en el cuadro núm. 8 y figura 10.

Se deduce de ellos que los aceros con 7 por 100 de cromo, como mínimo, presentaron muy poca corrosión y los aceros 18-8 resultaron prácticamente inatacables a la temperatura citada. Como no fué posible continuar la duración de la prueba se han representado por extrapolación los resultados que se supone podrían haberse obtenido en unas 500 horas y que se han indicado con línea de trazos en la figura número 9.

En el cuadro núm. 9 y en la figura 11 están especificados los resultados obtenidos en otra prueba de 500 horas a la temperatura de 595° C, y se comprobó también, al igual que en otras pruebas, la marcada influencia del cromo sobre el grado de corrosión. Pudo observarse a su vez que las aleaciones con gran proporción de cobre (aleación A) y la de aluminio con escasa proporción de silicio (aleación B) presentaron una mayor corrosión que las de bajo contenido de carbono y molibdeno.

Pruebas de corrosión con los aceros especiales Stellite, Hastelloy, Colmonoy y Lamite.

Se han realizado también algunos ensayos con muestras de aceros especiales, tales como la Stellite Haynes, de la cual se dispusieron dos barras de 15,8 mm. de diámetro y de unos 445 mm. de longitud que fueron sometidas a la acción del vapor a 595° C por espacio de 1.300 horas, divididas en varias fases, a saber: dos de 500 horas, uno de 200 horas y otro de 100 horas.

El examen de las superficies expuestas a la acción del vapor después de dicho tiempo demostró que la cantidad de óxido formada era demasiado reducida para poderla determinar por el ya conocido procedimiento de eliminación de la costra corroída.

Otras tres muestras de los aceros designados Hastelloy A, B y C fueron sometidas también a la citada prueba de vapor a 595° C durante 500 horas, y se observó la formación de una delgadísima capa corroída que tampoco permitía su fácil eliminación.

A continuación fueron tratadas con vapor a 650° C otras tres muestras de Hastelloy A, B y C y otras dos

de Stellite Haynes, por un espacio de 1.300 horas. Ello no obstante, el espesor de la parte corroída continuó siendo sumamente pequeño.

Por último se ensayaron varias muestras de varilla de aceros Colmonoy y Lamite núms. 4, 5 y 6, también con vapor a 650° C por espacio de 750 horas. Se formó una delgada capa, que al igual que las anteriores no permitía fácilmente su eliminación electro-lítica, lo que demostraba así, una vez más, la extrema-da resistencia de estas aleaciones especiales a la corrosión por el vapor de agua.

Pruebas de corrosión de aceros moldeados.

En el cuadro núm. 10 se han indicado los análisis correspondientes a nueve muestras de aceros moldeados, que fueron sometidas a la acción del vapor de agua a 650 C durante 570 horas, en presencia de una muestra testigo de acero al cromo (7 por 100) de perfil laminado, siendo las otras nueve barras de 12,7 milímetros de diámetro y unos 150 mm. de longitud.

Los resultados de esta prueba, recogida en el citado cuadro núm. 10 y en la figura 12, corroboran lo dicho en otros casos acerca de los aceros al cromo, no difiriendo prácticamente en ambos casos, tanto tratándose de aceros laminados como en el caso de aceros moldeados en los cuales los efectos de la corrosión han sido prácticamente análogos.

Influencia de las variaciones de temperatura durante los ensayos de corrosión de aceros.

Esta última fase de los ensayos, correspondiente a uno de los varios programas de experimentación realizados, tenía por objeto determinar el efecto que las fluctuaciones de la temperatura máxima alcanzada en cada caso podía tener sobre el grado de corrosión alcanzado por varias muestras de acero.

Se utilizaron con tal objeto cinco clases diferentes de acero, no sometidos a esfuerzos y de acuerdo con la especificación detallada en el cuadro 11, que fueron sometidos a la acción del vapor de agua a la temperatura fija de 650° C por espacio de 500 horas.

Después de este tratamiento, tres muestras de cada clase de acero fueron sometidas al procedimiento electrolítico conocido de eliminación de la capa corroída y comprobación de su peso.

La mitad de las restantes muestras se hicieron en-

friar bruscamente desde los 650° C a la temperatura ambiente, pero estando rodeadas de una atmósfera de nitrógeno, para volverlas a calentar nuevamente otra vez hasta 650° C durante otras 100 horas. Este tratamiento fué repetido sucesivamente hasta conseguir un espacio de tiempo de 1.200 horas en contacto con el vapor a 650° C.

Por último, las demás muestras fueron tratadas análogamente, con un período de 50 horas, comprobándose el grado de corrosión a las 700 horas y al final de la prueba.

En la figura 13 puede observarse el estado en que quedaron varias muestras en el momento de termi-

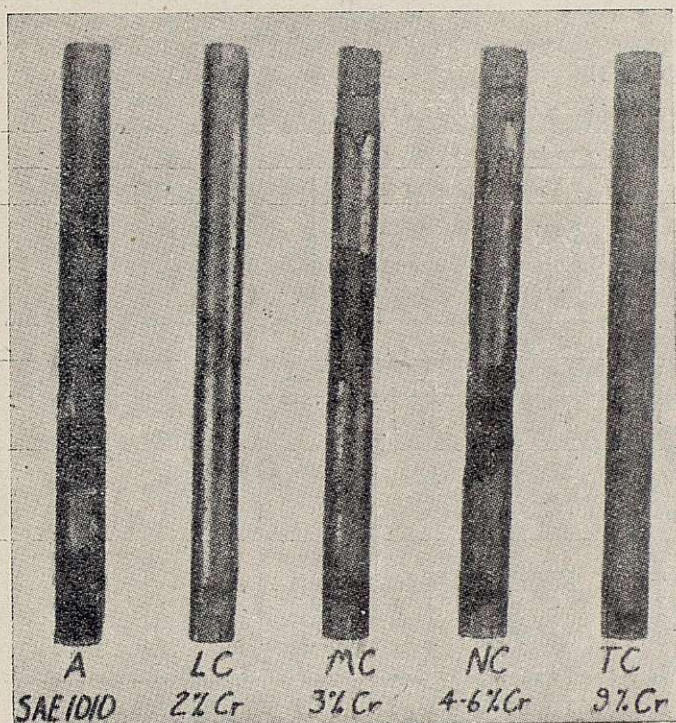


Fig. 13

nar la prueba. La observación visual continuada a lo largo de ella demostró que la costra formada es más delgada y frágil cuando el contenido de cromo va aumentando hasta el 5 por 100 de cromo. Los aceros de bajo contenido en carbono presentaron una gruesa y porosa capa corroída que sólo se desconchó muy ligeramente a pesar de los bruscos cambios de temperatura sobre todo si se los compara con los aceros con 4-6 por 100 de cromo. Las muestras del tipo de 2 por 100 de cromo eran más resistentes al descostra-

do que las de 3 por 100, mientras que la tercera capa formada en las de 4-6 por 100 de cromo se agrietó al final de las 1.200 horas. En las de 9 por 100 de cromo la capa corroída fué sumamente fina y observada al microscopio, al terminar la prueba, no presentó señales de resquebrajamiento.

En la figura 14 se han reunido gráficamente los resultados obtenidos, observándose no ser importantes las diferencias apreciadas en los períodos intermitentes de 50 y 100 horas. También puede indicarse que, en cualquier clase de acero, el factor que determina el resquebrajamiento o rotura de la capa corroída es el tiempo de exposición a la acción del vapor, o si se quiere expresar de otra forma, el espesor de la costra formada, siendo también evidente que el grado de corrosión disminuye al aumentar la proporción de cromo en la composición del acero.

Se realizó también otro ensayo con objeto de estudiar la influencia de la forma de la superficie tratada en el caso de oscilaciones en la temperatura, es decir, calentamientos intermitentes seguidos de enfriamiento. En el cuadro núm. 12 se han recogido los análisis correspondientes al estado de fusión de los aceros que para ella fueron seleccionados. Las muestras de tubo de 38 mm. y 25,4 mm. de diámetros, con longitudes del orden de unos 100 mm. se tornearon ligeramente interior y exteriormente con el fin de eliminar algunas posibles costras de laminación, mecanizándolas después en forma exagonal de caras planas en un 40 por 100 de su superficie exterior y cortándolas después en dos partes en su sentido longitudinal, para poder así observar el efecto de corrosión del vapor de agua sobre tres clases distintas de superficies.

Las muestras se colocaron en la cámara de reacción y fueron sometidas a la acción del vapor a 650° C durante 500 horas, después de lo cual fueron extraídas y enfriadas rápidamente a la temperatura ambiente en una atmósfera de nitrógeno. Dos de dichas muestras fueron separadas como testigos y la srestantes volvieron a introducirse en la cámara de reacción hasta los 650° C, después enfriadas y vueltas a calentar nuevamente hasta alcanzar otras 100 horas más, después nuevamente enfriadas, etc., llegando de esta forma en diversos y sucesivos intervalos hasta un total de 1.300 horas; al llegar a este punto se extrajeron definitivamente y se determinó la penetración

alcanzada en la capa corroída. Durante las interrupciones en el calentamiento la cámara de reacción se llenaba de nitrógeno en tanto se realizaban las operaciones necesarias para la marcha de la prueba. Corresponiendo el total de horas citado, tan sólo a base de los espacios de tiempo sometidos a la acción del vapor. El gráfico representativo de esta prueba es el que corresponde a la figura 15.

Antes de proceder a la eliminación de la capa corroída, se sometieron las muestras a una prueba de percusión o choque, dejando caer en el extremo de cada muestra una esfera de acero de 567,5 gramos de peso desde una altura de 914 mm. con el fin de comprobar el grado de adherencia de la citada costra.

Después fué eliminada ésta completamente para determinar la pérdida de peso experimentado y la penetración lograda por la corrosión.

Al finalizar el período de 500 horas, todas las muestras presentaron una ligera capa de óxido, pero sin resquebrajaduras apreciables. Después de 600 horas de tratamiento algunos ejemplares de acero con 4-6 por 100 de cromo-molibdeno-titanio mostraron ligeras grietas, y los del tipo inoxidable 18-8 cobalto y 18-8 dejaron notar la formación de una pequeña capa corroída. Transcurridas las 700 horas se notaba el desprendimiento de costras a las muestras 4-6 cromo-molibdeno-silicio y 4-6 cromo-molibdeno. En las de 4-6 cromo-molibdeno-titanio pudo observarse, entre las

CUADRO N.º II

Corrosión de aceros con vapor a 650° C sometidos a oscilaciones de temperatura

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %						
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Mo
S. A. E. 1010..	0,08	0,30	0,017	0,034	—	—	—
2 Cr-Mo.....	0,11	0,47	0,017	0,016	0,40	1,98	0,51
3 Cr-Mo.....	0,11	0,51	0,014	0,016	0,36	2,95	0,98
4-6 Cr-Mo....	0,12	0,41	0,017	0,016	0,28	4,60	0,54
9 Cr-1,22 Mo..	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	1,22

Clase de acero	Duración de la prueba									
	Temperatura constante durante 500 horas		Variaciones de temperatura durante 700 horas				Variaciones de temperatura durante 1.200 horas			
			Período 50 horas		Período 100 horas		Período 50 horas		Período 100 horas	
	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm	N.º de muestras	Penetración media mm
S. A. E. 1010..	3	0,0267	3	0,0312	3	0,0287	3	0,0396	4	0,0394
2 Cr-Mo.....	4	0,0239	2	0,0282	3	0,0267	3	0,0312	3	0,0284
3 Cr-Mo.....	2	0,0233	4	0,0244	3	0,0226	3	0,0274	3	0,0259
4-6 Cr-Mo....	3	0,0191	3	0,0203	3	0,0213	4	0,0233	3	0,0254
9 Cr-1,22 Mo..	3	0,0038	3	0,0028	3	0,0028	3	0,0033	4	0,0030

Observación: La temperatura de 650° C se mantuvo constante durante 500 horas, seguida de enfriamientos intermitentes a la temperatura ambiente con períodos de 50 ó 100 horas.

CUADRO N.º 12

Corrosión de aceros en contacto intermitente con vapor a 650° C durante 1.300 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %													N.º de muestras	Penetración media mm
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Co	Al	Cu	Ti	Va		
S. A. E. 1010..	0,15	0,33	0,008	0,028	0,09	0,05	0,08	—	—	—	0,014	—	—	4	0,0396
C-Mo.....	0,12	0,52	0,010	0,020	0,21	—	—	0,53	—	—	—	—	—	4	0,0336
S. A. E. 6120 ..	0,21	0,43	—	—	—	1,00	—	—	—	—	—	—	0,18	4	0,0205
2 Cr-Mo-Al-Si ..	0,09	0,28	0,011	0,014	1,27	2,02	—	0,55	—	0,70	—	—	—	3	0,0127
3 Cr-Mo.....	0,15	0,48	0,011	0,016	0,45	3,12	—	0,80	—	—	—	—	—	3	0,0192
4-6 Cr-Mo.....	0,09	0,46	0,030	0,030	0,30	4,75	—	0,55	—	—	—	—	—	3	0,0152
4-6 Cr-Mo-Si.....	0,13	0,25	0,014	0,012	1,50	4,98	—	0,50	—	—	—	—	—	3	0,0153
4-6 Cr-Mo-Al-Si ..	0,13	0,34	0,012	0,012	0,82	5,20	—	0,54	—	—	—	—	—	3	0,0124
4-6 Cr-Mo-Cb.....	0,10	0,48	0,015	0,014	0,25	6,00	—	0,50	—	0,55	—	—	—	3	0,0124
4-6 Cr-Mo-Ti.....	0,08	0,31	0,015	0,013	0,47	5,18	0,25	0,54	0,77	—	—	—	—	2	0,0110
9 Cr-1,50 Mo ..	0,13	0,42	0,025	0,016	0,23	8,46	—	1,52	—	—	—	0,63	—	4	0,0068
12 Cr.....	0,04	0,75	0,026	0,025	0,31	11,69	0,66	0,31	—	—	—	—	—	3	0,0033
18-8	0,05	0,41	0,020	0,011	0,48	18,23	9,96	—	—	—	—	—	—	2	—
18-8 Co	0,06	0,58	0,016	0,014	0,38	17,29	12,20	—	0,68	—	—	—	—	4	—

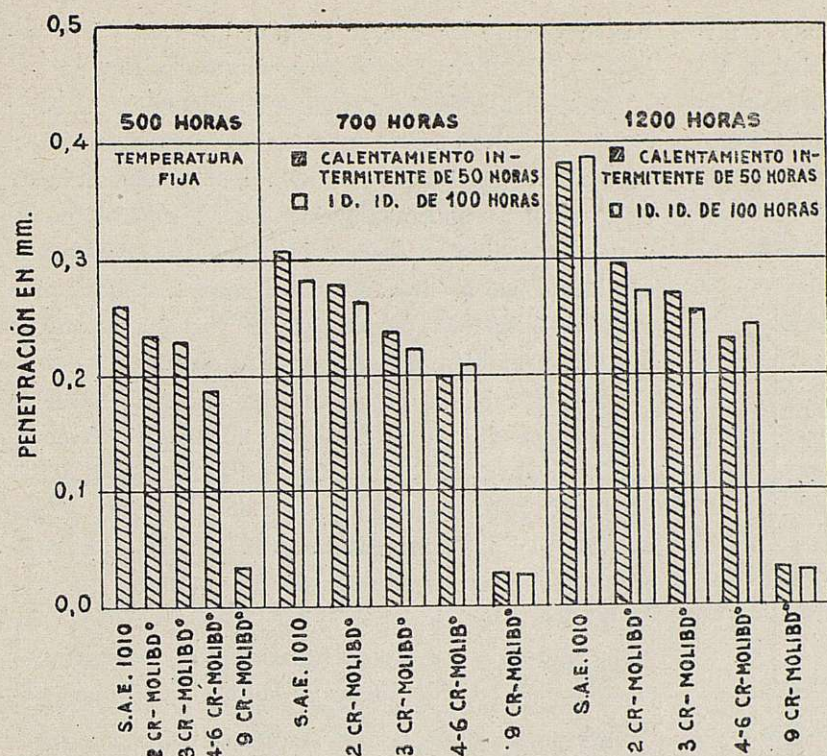


Fig. 14.-CORROSION DE ACEROS POR LA ACCION DEL VAPOR A 650°C CON OSCILACIONES DE ESTA TEMPERATURA

grietas formadas, la aparición de una nueva capa interior de óxido y sin que aparecieran nuevas modificaciones al terminar las 800 horas.

Cuando se enfriaron las muestras después de alcanzar 900 horas bajo la acción del vapor pudo percibirse claramente al oído algún ruido ocasionado por el resquebrajamiento de la costra formada. En el acero S. A. E. 1010 la corrosión fué pequeña, pero quedó muy adherida al metal la capa producida. En el tipo 2 por 100 cromo-molibdeno-aluminio-silicio y 4-6,5 cromo-molibdeno-silicio la costra formada se disgregó según secciones elípticas en las superficies planas exteriores, contrariamente a lo sucedido en la parte interior cóncava. En los aceros S. A. E. 6120, 3 por 100 cromo-molibdeno y carbono-molibdeno, la costra producida por la corrosión fué muy delgada sin apreciarse en ella resquebrajaduras.

En general, en todas las muestras quedó visible el metal primitivo, al desprenderse la capa de óxidos, con excepción de la S. A. E. 1010.

Sufrieron escasísima corrosión los aceros 18-8 cobalto, 18-8, 12 por 100 cromo y 9 cromo-1,5 molibdeno. Siendo a su vez menor en el tipo 4-6 cromo-molib-

deno-cobalto que en la 9 cromo-0,5 molibdeno.

Siendo por el contrario muy oxidados los aceros 4-6 cromo-molibdeno-titanio, 4-6 por 100 cromo-molibdeno, 4-6 cromo-molibdeno-silicio y 4-6 cromo-molibdeno-aluminio-silicio.

Los resultados obtenidos en los ensayos están indicados en las figuras 16 y 17, en las que aparece claramente la influencia del contenido de cromo sobre la resistencia a la corrosión. En la segunda de dichas figuras el punto 1 corresponde al acero S. A. E. 6120 con un contenido elevado de vanadio y el punto 2 pertenece al 2 por 100 cromo-molibdeno con una fuerte proporción de aluminio y silicio. Con los demás puntos obtenidos, exceptuando los dos anteriores, se ha trazado la curva de la figura 17, en la que puede observarse una

buena correlación entre el contenido de cromo y el grado de corrosión alcanzado.

En general, los aceros sometidos a esta prueba por espacio de 1.300 horas pueden clasificarse en tres grupos, según el grado de corrosión alcanzado, a saber:

Primer grupo, que comprende las muestras de ace-

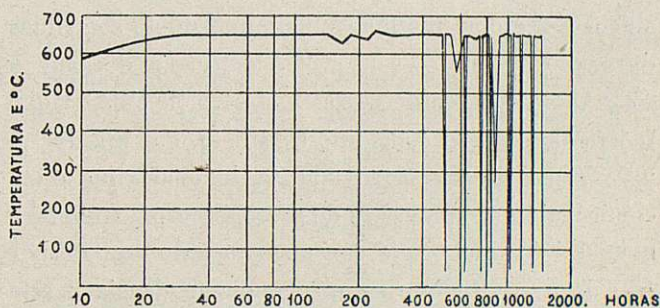


Fig. 15.-GRÁFICO DE LAS OSCILACIONES DE TEMPERATURA

ro al carbono-molibdeno, 3 por 100 cromo-molibdeno, S. A. E. 6120 y S. A. E. 1010, las cuales presentaron una capa corroída muy delgada, porosa, pero sumamente adherida.

El segundo grupo reúne una serie de muestras con una delgada costra de metal corroído, pero muy que-

bradiza y fácil de desprender durante la prueba, formada por los aceros 4-6 cromo-molibdeno-cobalto, 4-6 cromo-molibdeno-aluminio-silicio, 4-6 cromo-molibdeno-silicio, 2 cromo-molibdeno-aluminio-silicio, 4-6 cro-

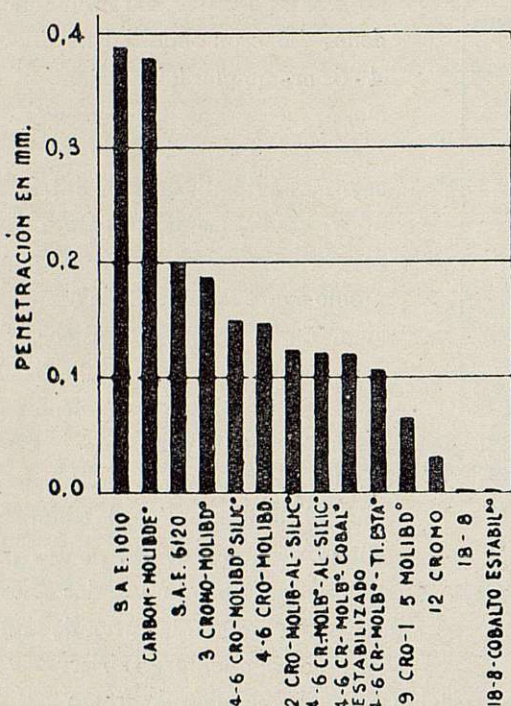


Fig. 16 - CORROSION DE ACEROS POR ACCION INTERMITENTE DEL VAPOR A 650°C DURANTE 1300 HORAS

mo-molibdeno y 4-6 cromo-molibdeno-titanio. La corrosión formada en las muestras 4-6 cromo-molibdeno-silicio y 2 cromo molibdeno-aluminio-silicio sometidas durante 1.300 horas a la acción del vapor de agua a 650° C se desprendió según una sección elíptica que fué atribuída a su contenido en silicio, que era de 1,5 y 1,27 por 100, respectivamente, lo cual vino a ser confirmado por la muestra de acero 4-6 cromo-molibdeno-aluminio-silicio, que con un contenido de 0,82 por 100 de este último presentó ya una tendencia a esta cierta forma elíptica. Al observar al microscopio estas muestras, pudo comprobarse que la constitución de las escamas formadas en el interior no difería esencialmente de las de la parte externa, tanto en el caso de superficies planas como curvas.

En el tercer grupo, las aleaciones sometidas a la acción del vapor se cubrieron de una delgadísima costra corroída que quedó totalmente adherida al metal

básico y entre las que se cuentan los aceros 18-8 cobalto, 18-8, 12 cromo y 9 cromo-1,5 molibdeno.

De los datos contenidos en el cuadro núm. 12 antes citado se deduce que la penetración lograda en el acero 3 cromo-molibdeno es mayor que la alcanzada en el 2 cromo-molibdeno-aluminio-silicio, no obstante el mayor contenido en cromo del primero, lo cual puede explicarse por la circunstancia de que la combinación aluminio-silicio ha debido por su parte contribuir a disminuir también el grado de oxidación.

De la prueba de percusión con esfera metálica se dedujo que las capas de óxido formadas sobre las muestras al carbono-molibdeno, S. A. E. 6120 y, S. A. E. 1010, quedaron adheridas al metal y que casi la totalidad de la costra formada en el acero 3 cromo-molibdeno se desprendió durante esta prueba. En las restantes muestras citadas, a excepción de las 18-8, 12 cromo y 9 cromo-1,5 molibdeno se separaron también una considerable cantidad de las escamas formadas.

Resumiendo, podemos decir que la resistencia de las aleaciones de acero a la corrosión por la acción del

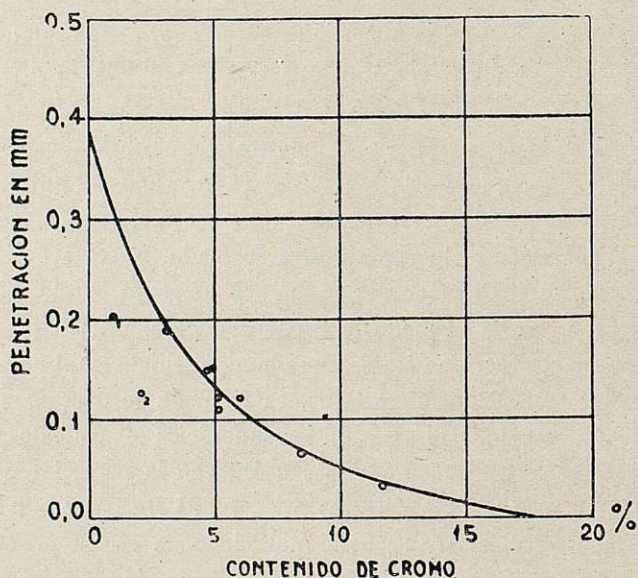


Fig. 17 - INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CROMO SOBRE LA CORROSION DE ACEROS BAJO LA ACCION INTERMITENTE DEL VAPOR A 650°C DURANTE 1300 HORAS.

vapor de agua a elevada temperatura (hasta 760° C) aumenta con la proporción de cromo contenido en ellas, sobre todo a partir del 7 por 100 de este metal. Los aceros inoxidables tipo 18-8 no presentan

por su parte corrosión apreciable. El grado de corrosión es mayor durante las primeras 500 horas para ir disminuyendo después progresivamente. También la temperatura del vapor tiene notable influencia, apreciándose ésta de una manera decisiva a partir de los 600° C aproximadamente con excepción de los aceros de alto contenido de cromo.

En general, la capa corroída, de dureza y conformación distinta, según tres tipos delimitados claramente, era más frágil en las superficies externas que en las interiores.

CORROSIÓN POR LA ACCIÓN DEL VAPOR DE AGUA DE BARRAS DE ACERO SOMETIDAS A ESFUERZOS MECÁNICOS

Antecedentes.

Con objeto de determinar también el comportamiento de diferentes aleaciones de acero sometidas a la acción del vapor de agua y en condiciones de cierta analogía con respecto a su utilización industrial, esto es, sometidas a la acción de la alta presión del vapor, se realizaron nuevos ensayos en la Universidad de Purdue, con varias muestras de acero sometidas simultáneamente a esfuerzos mecánicos, comprobando al mismo tiempo en ellas el grado de corrosión producido.

Los resultados obtenidos fueron presentados a la American Society of Mechanical Engineers, que los aceptó definitivamente a mediados del año 1942. Y de ellos vamos a hacer una breve exposición a continuación:

Las aleaciones que principalmente fueron utilizadas en las pruebas son las siguientes:

Aceros al carbono-molibdeno. Aceros 1,25 cromo-molibdeno. Aceros 2 cromo-molibdeno. Aceros 7 cromo-molibdeno. Aceros 9 cromo-molibdeno. Aceros 18-8 inoxidables.

Aparatos utilizados y marcha general de los ensayos.

El esquema general de disposición de los aparatos empleados en las pruebas está indicado en la figura 18.

El vapor de agua a la presión 14 Kg./cm² que se utilizó en los ensayos pasa por la válvula de seguridad regulada por un solenoide y a través de un recalentador de tubos de acero, que utiliza gas como combustible, después por un recalentador automático que

regula la temperatura del vapor en las cuatro secciones de recalentadores o cámaras de reacción que trabajaron en paralelo durante los ensayos. El vapor, después de pasar por cada una de estas cámaras, se condensa en un refrigerador de superficie de tubos de acero, y, luego, se pesa el agua recogida. Se utilizó también otro condensador de puesta en marcha, en conexión con el recalentador de gas, para poder operar también con independencia de las cuatro cámaras de reacción. Para regular la energía suministrada al recalentador eléctrico se utilizó un par termoelectrónico que actúa convenientemente de acuerdo con la temperatura alcanzada por el vapor. Existía también otro segundo termostato que actuaba en caso necesario sobre la válvula de vapor, cerrándola convenientemente para reducir la cantidad de calor aportado si la temperatura del vapor es anormal.

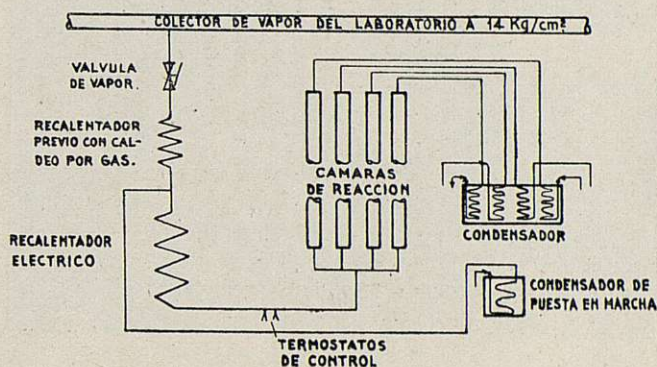


Fig. 18- ESQUEMA GENERAL DE LA DISPOSICION DE LOS APARATOS

El recalentador eléctrico fué construido con tubo de acero inoxidable 18-8 de 12,7 mm. de diámetro y longitud de unos 30 metros, curvándole en forma de espiral plana y rodeándole de una capa de material aislante, y quedaba conectado finalmente al transformador por medio de pequeñas chapas o lengüetas soldadas a éste.

En la figura 19 pueden observarse las cámaras verticales de reacción durante su período de construcción y montaje. Está constituida cada una de ellas por un tubo extrapesado de 50 mm. de diámetro y 3,70 m. de longitud suspendido de una armadura metálica de perfiles en doble T con travesaños soldados. Cada cámara de reacción iba provista de un calentador principal de 2,4 m. de longitud y de otros dos de 60 cm. de largo situados en su parte exterior. Se

regulaba manualmente la energía eléctrica suministrada a cada sección o cámara. Como es sabido, el objeto fundamental de estos recalentadores fué mantener a igual temperatura la temperatura interior y ex-

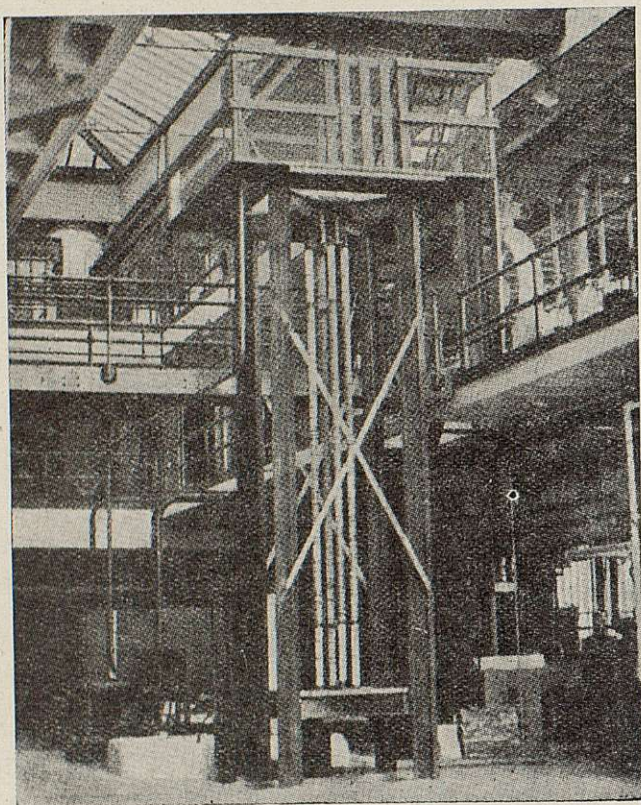


Fig. 19

terior de dichos tubos. Cada una de las cámaras estaba provista en uno de sus extremos de un cierre con prensa-estopas a través de los cuales podían introducirse las barras de acero objeto del ensayo.

Las citadas muestras ocuparon la región media de cada cámara de reacción, suspendidas de los travesaños de la armadura y sometidas a esfuerzo de tracción mediante resortes colocados en la parte inferior unidos a los travesaños de esta parte de la armadura. La parte exterior de estos tubos o cámaras se aisló térmicamente con ladrillos refractarios, formando compartimientos independientes que permitían operar

en cada una de ellas con temperaturas distintas de las demás si así se deseaba.

Las diferentes muestras de acero, situados convenientemente en las correspondientes cámaras de reacción, se sometieron a la acción de una corriente de vapor de agua a temperatura previamente fijada, y se realizó dos series de ensayos, la primera por espacio de 1.030 horas y la segunda hasta 2.000 horas de duración. Se determinó al finalizar la prueba el alargamiento, el espesor de la capa corroída y el esfuerzo de tracción correspondiente, y se completó el ensayo con un estudio microfotográfico de los metales tratados.

Preparación de las muestras y determinación del grado de corrosión alcanzado.

Las muestras utilizadas en la primera prueba fueron sometidas a un tratamiento término previo y después mecanizadas de conformidad con las dimensiones de la figura 20. Lo saceros al carbono-molibdeno, 1,25 cromo-molibdeno y 2 cromo-molibdeno, fueron recocidos hasta una temperatura del orden de unos 845° C. Las de 7 cromo-molibdeno y 9 cromo-molibdeno alcanzaron primeramente los 955° C y, luego, se sometieron a un estirado durante 6 horas a la temperatura de 815° C. En cuanto al acero inoxidable 18-8 fué recocido a 1065° C, y enfriado después en agua.

Las distintas muestras empleadas fueron colocadas unas a continuación de otras por medio de collares roscados a los cuales fueron atornillados por sus extremos y por orden de mayor a menor diámetro, colocando la de mayor sección en la parte superior de la cámara de reacción, luego de haber sido frotadas y pulidas previamente después de comprobadas convenientemente sus dimensiones.

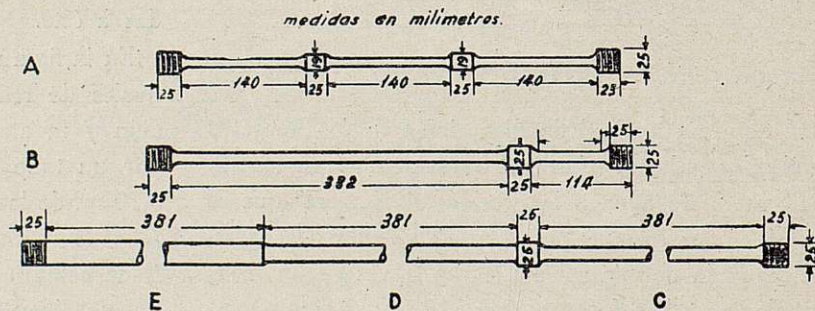


Fig. 20- MUESTRAS PARA LA PRUEBA DE 1300 HORAS

Como consecuencia de la dificultad apreciada al mecanizar y recocer la forma C, por su mayor longitud, se adoptaron para la segunda prueba las dimensiones de las muestras representadas en la figura 21.

Una vez colocadas las muestras por el orden indicado fueron unidas, las situadas en los extremos, a unas varillas que, pasando a través de las empaquetaduras, se unían a los travesaños correspondientes mediante tuercas y cojinetes de empuje con objeto de evitar la torsión de las muestras. Las varillas de ex-

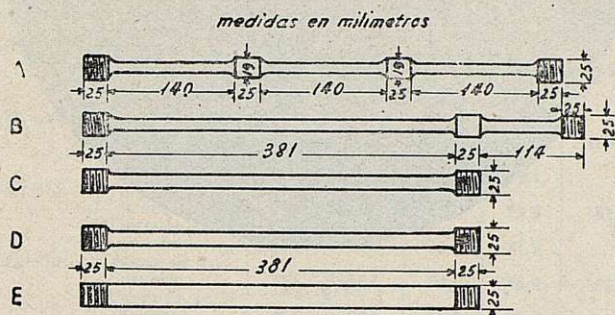


Fig. 21- MUESTRAS PARA LA PRUEBA DE 2000 HORAS.

tensión inferiores fueron naturalmente unidas a un fuerte resorte provisto de collar y con los elementos precisos para asegurar una perfecta sujeción y el con-

CUADRO N.º 13

Análisis químico de los aceros ensayados

Clase de acero	N.º de la prueba	Análisis en la fusión en tanto por ciento							
		C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo
C-Mo.	2	0,13	0,49	0,011	0,010	0,25	—	—	0,52
1,25 Cr-Mo.	1	0,14	0,38	0,015	0,018	0,79	1,25	—	0,55
1,25 Cr-Mo.	2	0,12	0,44	0,010	0,010	0,75	1,27	—	0,52
2 Cr-Mo.	1	0,11	0,45	0,012	0,015	0,42	2,08	—	0,50
7 Cr-Mo.	1 y 2	0,11	0,43	0,010	0,011	0,92	7,33	—	0,59
9 Cr-Mo.	2	0,10	0,38	0,010	0,011	0,64	8,74	—	0,64
18-8.	1.º	0,07	1,14	0,079	0,081	0,36	18,81	9,04	—

veniente esfuerzo mecánico de tracción, el cual podía graduarse mediante el accionamiento de una tuerca y comprobarse en cada caso por la utilización de escalas convenientemente graduadas en consonancia con la extensión alcanzada por los mencionados resortes.

Cada una de las barras objeto del ensayo se comprobó en todas sus dimensiones, anotándose incluso las más pequeñas diferencias o variaciones que pudieron observarse y marcando en las mismas algunas señales para poder comprobar fácilmente su alargamiento.

CUADRO N.º 14

Propiedades físicas de los aceros ensayados antes y después de la prueba n.º 1 de 1.030 de duración

Clase de acero	Observación	Límite elástico Kg/cm²	Carga de rotura Kg/cm²	Alargamiento %	Disminución de sección %	Dureza Brinell
1,25 Cr-Mo	Antes de la prueba	3.620	5.440	34,0	68,0	143
	Después de la prueba ..	3.452	5.270	35,0	67,4	
2 Cr-Mo.	Antes de la prueba	2.950	4.557	38,0	75,7	121
	Después de la prueba ..	2.700	4.317	35,0	75,5	
7 Cr-Mo.	Antes de la prueba	3.977	5.730	34,5	73,8	152
	Después de la prueba ..	3.531	5.846	31,0	73,3	
18-8.	Antes de la prueba	2.255	5.960	64,8	70,5	208
	Después de la prueba ..	4.816	7.488	43,0	60,6	

to. De cada clase de acero se separó una muestra para la determinación del peso específico correspondiente mediante la utilización de una balanza tipo Jolly.

Al extraer las muestras de la cámara de reacción se dividió cada una en tres trozos de unos 914 mm. de longitud. Se eliminaron los productos de la corrosión por el conocido procedimiento electrolítico. Una vez eliminadas estas costras se pesaron nuevamente las distintas muestras y se determinaron escrupulosamente sus dimensiones finales. Se calculó su peso inicial por el volumen de cada una y el peso específico co-

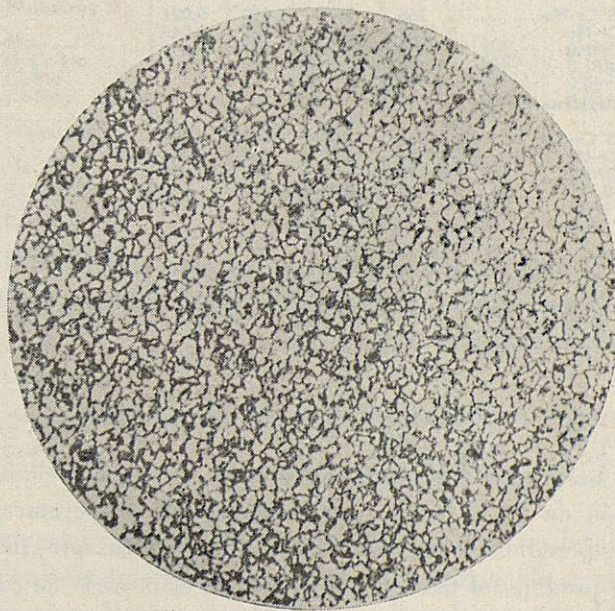


Fig. 22

responente. La diferencia entre los pesos inicial y final sirvió para determinar la pérdida experimentada y, por lo tanto, la penetración lograda por efecto de la corrosión, aunque debe advertirse que este procedimiento partiendo de volumen inicial y, por sufrir después un alargamiento y determinación del peso final, no es tan seguro como en el caso de que las muestras no hayan sufrido una cierta tracción y que, por lo tanto, es posible observar algunas ligeras diferencias en los resultados que se obtuvieron.

CUADRO N.º 15

Corrosiones producidas en la prueba n.º 1 de 1.030 horas de duración

Clase de acero	Esfuerzo de tracción Kg/cm ²	Alarga- miento medio %	Tempe- ratura media ° C	Pene- tración mm.	Observaciones
Muestras A					Fracturada las 229 horas Id. a 235 Id. a 590
1,25 Cr-Mo	790	--	610	—	
2 Cr-Mo	665	—	625	—	
7 Cr-Mo	525	—	621	—	
18-8	735	0,01	630	—	
Muestras B					
1,25 Cr-Mo	420	0,20	620	0,053	
2 Cr-Mo	378	3,22	630	—	
7 Cr-Mo	364	2,62	631	0,026	
18-8	546	0,00	628	—	
Muestras C					
1,25 Cr-Mo	294	0,16	611	0,078	
2 Cr-Mo	252	0,20	618	0,063	
7 Cr-Mo	238	0,42	625	0,043	
18-8	378	0,00	625	—	
Muestras D					
1,25 Cr-Mo	266	0,14	610	0,071	
2 Cr-Mo	182	0,08	617	0,045	
7 Cr-Mo	175	0,15	617	0,039	
18-8	343	0,00	626	—	
Muestras E					
1,25 Cr-Mo	119	0,00	612	0,092	
2 Cr-Mo	91	0,00	618	0,044	
7 Cr-Mo	91	0,00	617	0,052	
18-8	151	0,00	627	—	

El análisis químico de las distintas aleaciones de acero sometidos a las pruebas está detallado en el cuadro núm. 13.

Ensayos realizados con distintas clases de acero.

La prueba designada con el núm. 1 tuvo una duración de 1.030 horas y se mantuvo con temperaturas comprendidas entre los 610 y 632° C. Durante ella se produjeron tres interrupciones en el proceso de calentamiento debido a la inutilización de una empaquetadura de la cámara de reacción y a irregularidades

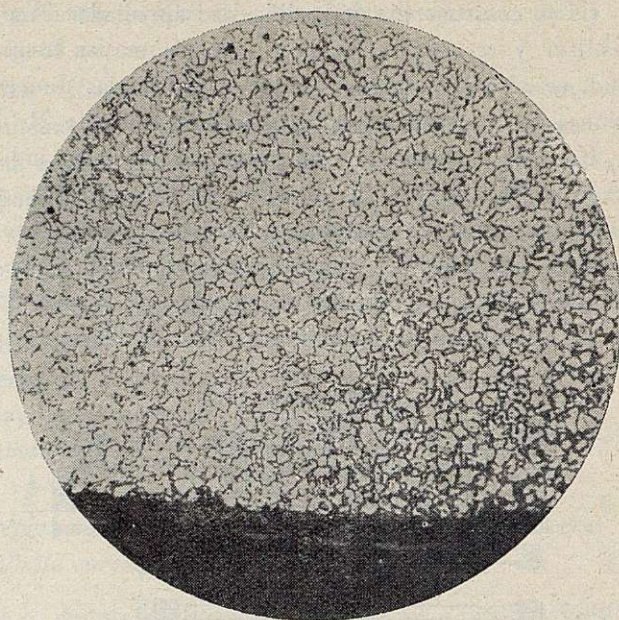


Fig. 23

en el suministro de energía eléctrica. Además, al alcanzar las 229 horas, fué preciso detener el ensayo como consecuencia de la rotura de la muestra A de 1,25 cromo-molibdeno, así como también a las 235 horas por ocurrir lo mismo con la muestra A de la clase 2 cromo-molibdeno. Por último, a las 590 horas se produjo la rotura de la muestra A de acero 7 cromo-molibdeno.

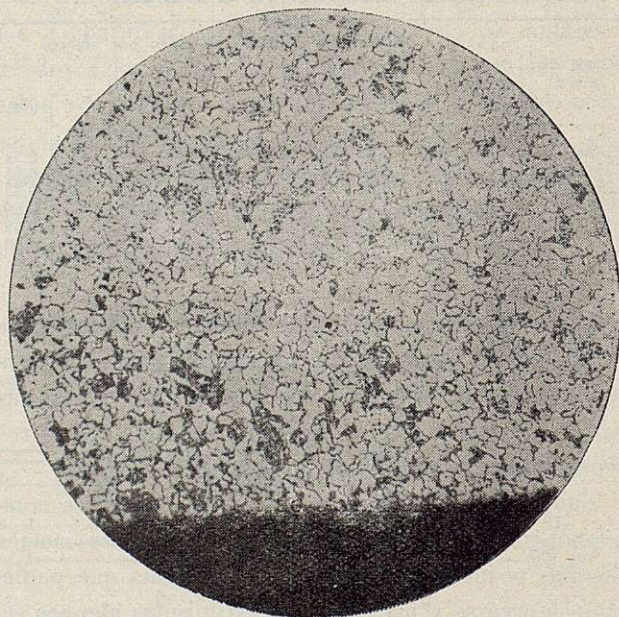


Fig. 24

Las propiedades físicas de los aceros ensayados fueron determinadas antes y después de la prueba. Se han recopilado los datos relativos a las mismas en el cuadro núm. 14.

CUADRO N.º 16

Propiedades físicas de los aceros ensayados antes y después de la prueba n.º 2 de 2.000 horas de duración

Clase de acero	Observación	Límite elástico Kg/cm ²	Carga de rotura Kg/cm ²	Alargamiento %	Disminución de sección %	Dureza Brinell
C-Mo...	Antes de la prueba	326	440	36,0	68,9	115
	Después de la prueba	329	435	37,0	70,7	
1,25 Cr-Mo	Antes de la prueba	405	522	35,5	72,2	143
	Después de la prueba	336	459	34,5	69,1	
7 Cr-Mo...	Antes de la prueba	398	573	34,5	73,8	152
	Después de la prueba	339	588	36,0	71,9	
9 Cr-Mo...	Antes de la prueba	317	564	34,0	73,9	152
	Después de la prueba	351	594	36,0	72,4	

Puede observarse en él que el límite de elasticidad y la carga de rotura del acero inoxidable 18-8 han aumentado considerablemente después del ensayo, pues sabido es que este tipo de acero presenta tensiones internas por endurecimiento que han debido producirse durante la prueba como consecuencia de las interrupciones y el sucesivo enfriamiento y calentamiento posterior sufrido por las muestras. Las diferencias observadas en algunas otras muestras no son importantes y cabe atribuir las a haberse comprobado sus propiedades tan sólo en dos ejemplares antes y después de la prueba.

Los resultados de la prueba están detallados en el cuadro núm. 15, juntamente con el esfuerzo de tracción aplicado, el alargamiento medio producido y la temperatura correspondiente. Si nos fijamos en el acero 1,25 cromo-molibdeno podemos observar que la penetración lograda por la corrosión no aumentó al crecer el esfuerzo de tracción; en cambio, para las muestras 2 cromo-molibdeno el grado de corrosión aumentó con el valor de la fuerza aplicada. En cuanto a los aceros 7 cromo-molibdeno no se observó una relación claramente definida entre ambos factores.

El grado de corrosión producido en el acero inoxidable 18-8 fué realmente demasiado pequeño para poderlo traducir a cifras.

De todo lo anterior se deduce que no existe verdaderamente una correlación bien definida entre el grado de corrosión producido y el esfuerzo de tracción aplicado a las muestras de los distintos aceros ensayados.

No se ha reseñado el grado de corrosión alcanzado por las muestras fracturadas por haberse producido en ellas alargamientos excesivos.

La microfotografía de la estructura original del acero 1,25 cromo-molibdeno en esta prueba núm. 1 está representada en la figura 22. Al terminar este ensayo de 1.030 horas se obtuvieron otras microfotografías correspondientes a distintos esfuerzos de tracción aplicados y que han sido designados como figuras 23, 24 y 25.

Para las restantes clases de acero se obtuvieron también diferentes microfotografías según los distintos casos considerados, y puede decirse después de su ob-

CUADRO N.º 17

Corrosiones producidas en la prueba n.º 2 de 2.000 horas de duración

Clase de acero	Esfuerzo de tracción Kg/cm ²	Alargamiento medio %	Temperatura media °C	Penetración mm
Muestras A				
C-Mo.....	350	0,71	602	0,114
1,25 Cr-Mo.....	350	0,46	630	0,143
7 Cr-Mo.....	434	4,50	630	0,066
9 Cr-Mo.....	282	1,02	626	0,049
Muestras B				
C-Mo.....	236	0,32	605	0,108
1,25 Cr-Mo.....	190	0,14	635	0,182
7 Cr-Mo.....	235	0,25	627	0,059
9 Cr-Mo.....	190	0,21	624	0,043
Muestras C				
C-Mo.....	164	0,13	602	0,095
1,25 Cr-Mo.....	132	0,08	617	0,153
7 Cr-Mo.....	164	0,10	623	0,048
9 Cr-Mo.....	132	0,06	611	0,050
Muestras D				
C-Mo.....	120	0,06	599	0,099
1,25 Cr-Mo.....	97	0,05	616	0,129
7 Cr-Mo.....	120	0,04	622	0,066
9 Cr-Mo.....	97	0,04	616	0,052
Muestras E				
C-Mo.....	70	0,00	599	0,096
1,25 Cr-Mo.....	57	0,00	618	0,078
7 Cr-Mo.....	70	0,00	621	0,086
9 Cr-Mo.....	57	0,00	627	0,120

servación que no llegó a producirse una verdadera corrosión intergranular. En el acero inoxidable se observaron algunos pequeños gránulos en sus extremos de escasa importancia. Puede, no obstante, decirse que

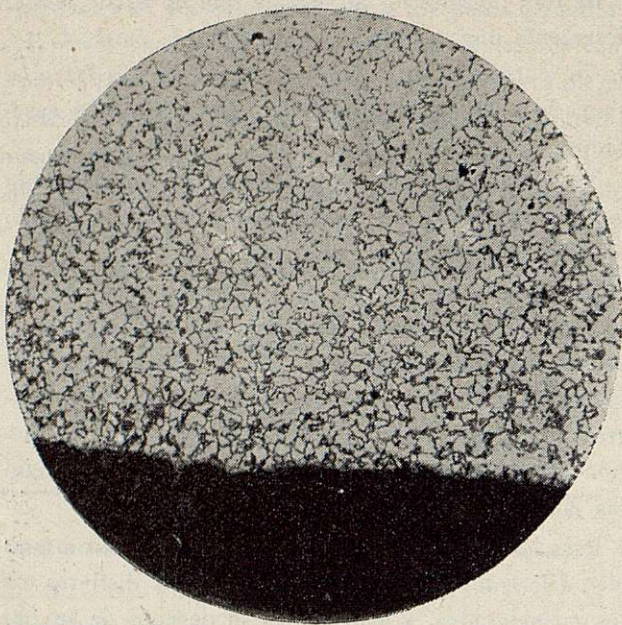


Fig. 25

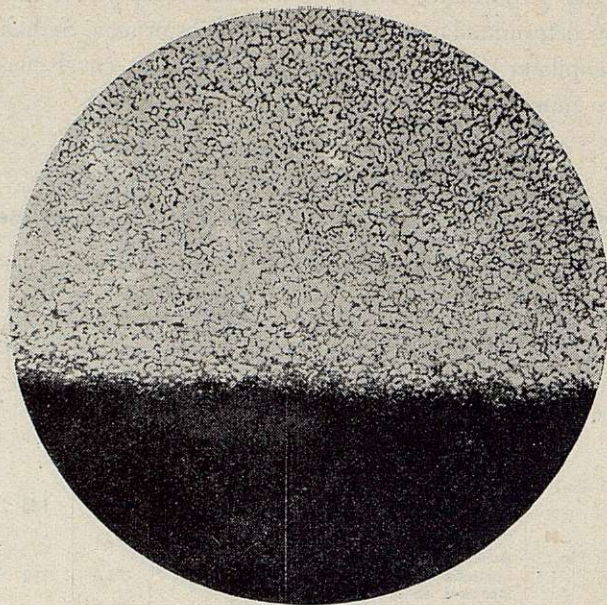


Fig. 26

durante la mencionada prueba núm. 1 el grado de corrosión producido por el vapor sobre las muestras de acero sometidas a esfuerzos de tracción no afectó realmente a la estructura interna de las distintas aleaciones ensayadas.

La prueba siguiente que se designó con el núm. 2 tuvo una duración de 2.000 horas actuando el vapor

sobre los aceros con temperaturas del orden de 600 a 635° C.

Las muestras ensayadas fueron de distintas calidades, como puede apreciarse en el cuadro núm. 16 que recopila las propiedades físicas de las mismas antes y después de la prueba.

En cuanto a los resultados de la penetración obte-

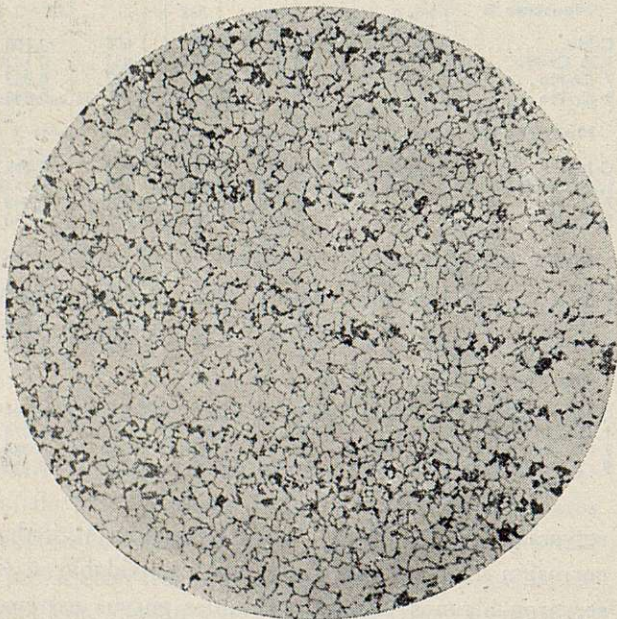


Fig. 27

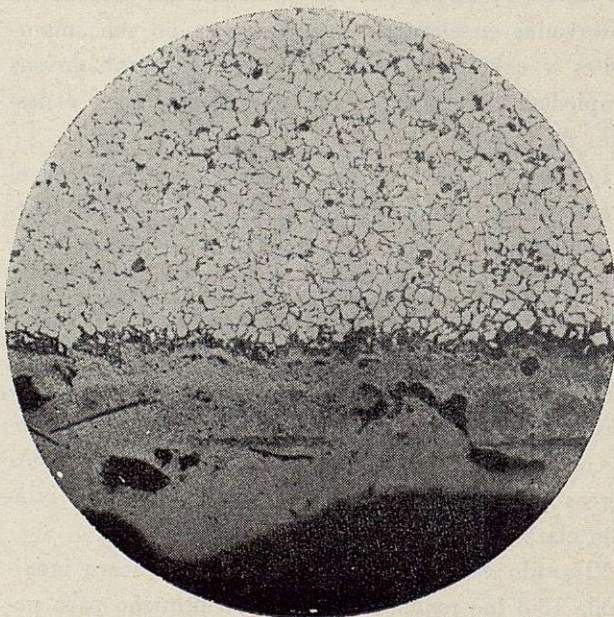


Fig. 28

nida por efecto de la corrosión se han reunido en el cuadro núm. 17.

Las figuras 22 y 26 muestran las microfotografías correspondientes a un acero 1,25 cromo-molibdeno obtenidas antes y después de esta segunda prueba de 2.000 horas de duración. También se obtuvieron microfotografías para las demás muestras ensayadas, estando representadas en la figura 27 una aleación original de acero al carbono-molibdeno, y en la figura 28 podemos ver otra muestra de igual calidad después de la prueba y que había sido sometida a mayor esfuerzo de tracción en la cual se observa una parte de la costra corroída que resultaba muy difícil retener durante la preparación de la microfotografía, y se nota que se

ha producido un cierto ataque de las primeras capas de la estructura interior de esta clase de acero que fué el único observado durante la prueba. En la muestra de acero 7 cromo-molibdeno se pudo apreciar alguna rugosidad o aspereza en su superficie exterior.

Puede decirse como resumen de las anteriores pruebas que el esfuerzo de tracción aplicado a las muestras ensayadas no ha tenido una influencia apreciable sobre el grado de corrosión producido sobre las mismas. En general, no se produjeron ataques corrosivos intergranulares en las distintas aleaciones de acero. Se comprueba que el contenido de cromo aumenta notablemente la resistencia a la corrosión, siendo el acero inoxidable 18-8 extremadamente resistente a ella

CUADRO N.º 18

Corrosión de barras de acero en contacto con vapor a muy alta temperatura por espacio de 500 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %												Temperatura del vapor °C	Pérdida de peso %
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Co	W	Cu	N		
S. A. E. 1010 ..	0,08	0,30	0,017	0,034									946 815 760	100,0 62,4 34,1
3 Cr-Mo	0,11	0,51	0,014	0,017	0,36	2,95	—	0,98					946 816 760	78,8 44,3 21,7
4-6 Cr-Mo	0,11	0,33	0,020	0,027	0,28	5,66	0,22	0,50					967 946 816 760	77,7 70,0 28,0 19,1
7 Cr-Mo	0,11	0,43	0,012	0,011	0,92	7,33	—	0,50					967 819	57,4 12,2
9 Cr-Mo	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	—	1,22					967 942 916 843 819 802	62,7 60,1 41,3 28,3 14,6 1,9
12 Cr	0,10	0,52	0,014	0,015	0,32	12,92	0,12	—					916 843 820 802	23,6 0,0 0,0 0,0
18-8	0,06	0,50	0,03	0,03	0,61	17,75	9,25	—					913 849 800	0,0 0,0 0,0
18-8 Co	0,07	0,36	0,015	0,012	0,39	18,62	9,90	—	1,11	—	—	—	963 943 913 849 820 800	11,5 12,3 0,0 0,0 0,0 0,0
21 Cr	0,11	0,39	0,016	0,016	0,42	21,45	—	—	—	—	1,18	—	910 855 805	0,0 0,0 0,0
27 Cr	0,11	0,48	0,014	0,014	0,38	26,02	0,20	—	—	—	—	0,101	910 855 805	0,0 0,0 0,0
25-20	0,07	1,62	—	—	0,34	24,45	20,30	—	—	—	—	—	910 855 805	0,0 0,0 0,0
25-15-2W	0,10	1,75	—	—	0,56	24,18	14,34	—	—	2,06	—	—	955	0,0

al ser sometido a la acción del vapor de agua a elevada temperatura.

CORROSIÓN DE ALEACIONES DE ACERO BAJO LA ACCIÓN DEL VAPOR DE AGUA A MUY ALTA TEMPERATURA

Antecedentes.

Para completar una de las series de experimentos sobre corrosión de aceros sometidos a la acción del vapor de agua se realizó en el Laboratorio de la Universidad de Purdue un último ensayo o conjunto de

días 29 al 3 de diciembre de 1943. Quedó aceptada definitivamente la comunicación presentada en 10 de enero del año 1944.

Aparatos, muestras y procedimientos utilizados en los ensayos.

El vapor de agua necesario, procedente, como siempre, del colector general del laboratorio, se hizo pasar a través de un recalentador de gas del tipo de contracorriente, constituido por un tubo de acero, y circuló posteriormente por otro recalentador también

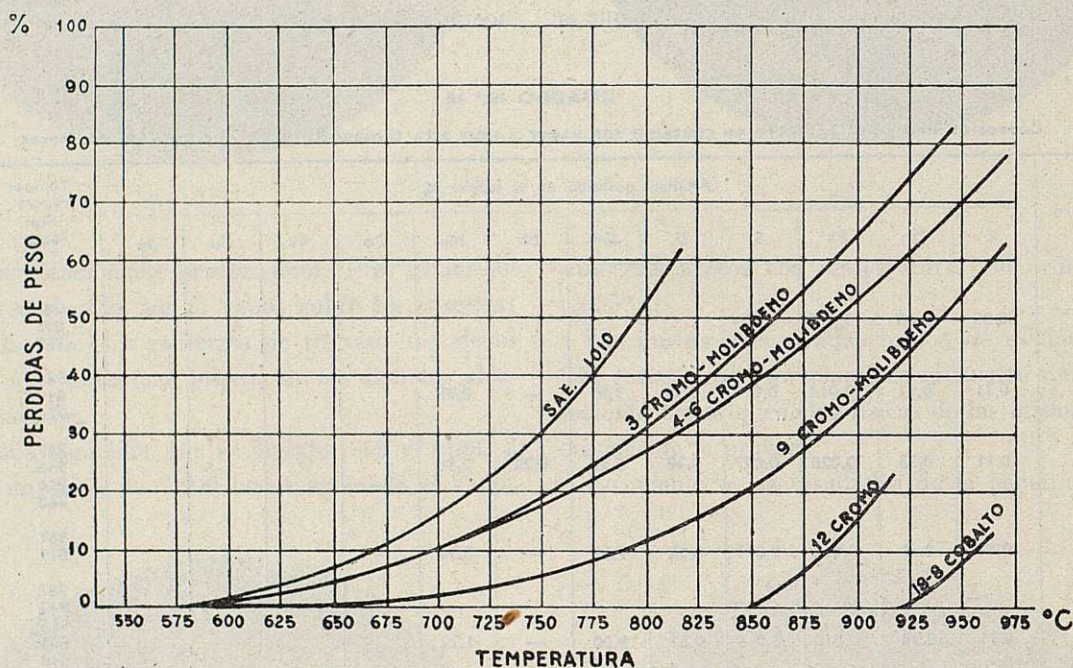


Fig. 29-CORROSIÓN DE BARRAS DE ACERO POR LA ACCIÓN DEL VAPOR DURANTE 500 HORAS.

pruebas utilizando vapor a elevadísimas temperaturas, con lo cual se completaron los trabajos iniciados en este sentido que comprendieron primeramente los ensayos con vapor a alta temperatura sometidos o no a esfuerzos de tracción simultáneos. Se llegaron a alcanzar en estas últimas pruebas de que nos ocupamos ahora hasta los 980° C.

Dichos trabajos realizados, como siempre, bajo los auspicios del Comité Especial de Calderas a la presión crítica, fueron efectuados bajo la dirección de los profesores Hawkins, Agnew y Solberg y presentados en la Reunión Anual de la American Society of Mechanical Engineers celebrada en Nueva York en los

de tubo de acero inoxidable tipo 25-20, de 16 y 9,5 mm. de diámetro, desde el cual se dirigía ya a una cámara de reacción constituida a su vez por tubería extrapesada de 50 mm. de diámetro exterior y de unos 3 metros de longitud, en uno de cuyos extremos se soldó una chapa metálica a través de la cual se efectuaba la unión con el recalentador, quedando cerrado el otro extremo con una pieza de tubería de acero al 7 % de cromo, a manera de cierre, a través de la cual se efectuaba la introducción y salida de las muestras tratadas.

Para el calentamiento exterior de la cámara de reacción, con objeto de mantener una temperatura ade-

cuada del vapor en su interior, se utilizaron, como siempre, un recalentador principal y dos auxiliares, que la aislaban convenientemente contra las pérdidas térmicas. Para medir la temperatura se utilizaron pares termoelectrónicos del tipo Pyod. Se condensaba el vapor a la salida en un refrigerador de tubos de cobre, después del cual se determinaba el peso correspondiente.

Las muestras que fueron empleadas eran de 12,7 mm. de diámetro y de una longitud aproximada de 150 mm. frotadas convenientemente con arena, pesadas y situadas en la cámara de reacción después de colocados en pequeñas cajitas de alambre de acero inoxidable. Al sacarlas, después de la prueba a la temperatura deseada, se les quitó mecánicamente la capa corroída con objeto de poder efectuar un análisis químico de las mismas y las costras más próximas al metal básico se eliminaron posteriormente por el procedimiento electrolítico, utilizando la muestra como cátodo en una disolución de quinoleína y con densidad de corriente de unos 15 A/dm².

Una vez totalmente limpias las muestras fueron pesadas nuevamente para determinar el grado de corrosión producido.

Resultados obtenidos en los ensayos.

En el cuadro núm. 18 se han reunido los datos concernientes a los ensayos efectuados con distintas muestras de aceros, cuyo análisis se ha determinado también.

La duración de la prueba fué de 500 horas, oscilando la temperatura del vapor entre 760 y 982° C, representándose también gráficamente los resultados en la figura núm. 29.

Con respecto a los aceros S. A. E. 1010 3 cromo-molibdeno y 18-8 puede decirse existe en ellos un punto o momento crítico de corrosión que apareció a partir de una temperatura determinada; que no se logró alcanzar, sin embargo, en las muestras de 21 cromo, 27 cromo, 25-20 y 25-15-2 W, que posiblemente le tendrán también a temperaturas superiores que no llegaron a alcanzarse. Para el acero 7 cromo-molibdeno se observaron dos puntos críticos de corrosión en alta temperatura que se aproximaban a los de la curva 9 cromo-molibdeno, por lo cual no fueron representados.

Para poder calcular la pérdida de peso producida por la corrosión durante las 500 horas de exposición a la acción del vapor, se trató de establecer una ecuación sencilla que permitiese determinarla. Esto no resultó fácil lograrlo, por cuantos los aceros con fuerte proporción de cromo presentan al principio muy

CUADRO N.º 19

Constantes para utilizar la ecuación $C = a(x-b)^d$

Clase de acero	CONSTANTES		
	a	b	c
S. A. E. 1010.....	1,1	0	2,5
3 Cr-Mo.....	0,93	0	2,27
4-6 Cr-Mo.....	1,0	0	2,13
9 Cr-Mo.....	0,07	0	3,33
12 Cr.....	16,45	5,5	1,34
18-8 Co.....	15,40	6,75	1,33

poca corrosión hasta alcanzar una temperatura bastante elevada a partir de la cual aumenta ya bruscamente dentro de la zona de muy altas temperaturas. En cambio, los de débil tenor de cromo suelen presentar una pérdida gradual de peso al crecer la temperatura. Por lo tanto, para poder utilizar una ecuación representativa fué necesario recurrir a un complicado algoritmo que no es absolutamente satisfactorio desde el punto de vista de absoluta rigurosidad matemática, estableciéndose una serie de ecuaciones de la forma

$$C = a(x - b)^d$$

en la cual los parámetros *a*, *b* y *d* han de establecerse para cada calidad de acero, de conformidad con los

CUADRO N.º 20

Concentración relativa de los elementos aleados en la zona media de la costra corroída en aceros expuestos a la acción del vapor durante 500 horas, a la temperatura de unos 925° C

Clase de acero	Relación entre porcentajes de los elementos aleados en la zona media con respecto al metal base		
	Cr	Si	Mo
3 Cr-Mo.....	2,52	2,08	2,39
4-6 Cr-Mo.....	2,05	2,03	2,24
9 Cr-Mo.....	1,33	5,48	0,79

datos establecidos en el cuadro núm. 19. El valor *C* representa la corrosión o pérdida de peso en tanto por ciento del peso inicial, siendo

$$x = \frac{9t - 4840}{500}$$

cuando la temperatura t se expresa en grados centígrado.

Debe advertirse que esta familia de ecuaciones nos da solamente resultados comprendidos dentro de los

CUADRO N.º 21

Concentración relativa de los elementos aleados en la zona media de la costra corroída en aceros expuestos a la acción del vapor durante 500 horas a la temperatura de unos 815° C

Clase de acero	Relación entre porcentajes de los elementos aleados en la zona media con respecto al metal base		
	Cr	Si	Mo
3 Cr-Mo	1,72	1,61	1,68
4-6 Cr-Mo	1,75	1,75	1,69
7 Cr-Mo	1,21	1,25	1,18
9 Cr-Mo	1,37	0,96	1,26

límites de temperatura alcanzados en las pruebas y no deben utilizarse fuera de los mismos.

Las costras corroídas fueron analizadas posteriormente. Así, por ejemplo, en el cuadro núm. 20 se han recogido los datos relativos a varios aceros sometidos a la acción del vapor de agua a 925° C durante unas 500 horas. Se observaron dos zonas principales de corrosión, es decir, la exterior y la central, puesto que la interior, muy fina y adherente, no fué posible eliminarla completamente para poderla analizar. En los aceros 3 cromo-molibdeno, en general la superficie de separación de ambas zonas era

fácil distinguir, sobre todo por la distinta manera de reflejar la luz ordinaria. En los tipos 4-6 cromo-molibdeno la parte exterior era sumamente frágil, análogamente a los 9 cromo-molibdeno, en los cuales la capa interior no llegó a comprobarse su existencia.

En el cuadro núm. 21 se han reseñado otras cifras relativas a otros varios aceros sometidos a la temperatura de unos 815° C por espacio de 500 horas.

Se deduce de dichos cuadros que la concentración de cromo, silicio y molibdeno ha tenido lugar en la capa media de la capa corroída, la cual puede estudiarse con más detalle por medio de los cuadros números 22 y 23, que dan la proporción de dichos metales con relación a la composición del metal primitivo, antes de ser corroído por el vapor de agua.

En todas las aleaciones el contenido de dichos elementos es menor en la zona exterior que en la zona media, lo cual concuerda con diversas teorías sobre la oxidación, que indican la formación de la zona exterior, compuesta principalmente de hierro que se difunde hacia el interior a través de otra capa más rica en diversos elementos aleados con él. Estos resultados parecen confirmar con toda probabilidad el buen éxito que la resistencia a la corrosión de los distintos aceros ensayados depende de la formación de una delgadísima capa muy resistente y fuertemente adherida al metal base, así como de otra capa intermedia que contiene una alta proporción de los diversos elementos aleados que alcanzan las capas interiores de la costra corroída. Por lo tanto, para obte-

CUADRO N.º 22

Análisis químico de las capas corroídas de varias clases de aceros en contacto con vapor a unos 945° C durante 500 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %								Análisis químico de las capas corroídas %						Tempe- ratura del vapor ° C
									Zona media			Zona exterior			
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cr	Si	Mo	Cr	Si	Mo	
3 Cr-Mo	0,11	0,51	0,014	0,016	0,36	2,95	—	0,98	7,44	0,75	2,34	0,33	0,03	0,05	945
4-6 Cr-Mo	0,11	0,33	0,020	0,027	0,28	5,66	0,22	0,50	11,61	0,57	1,12	0,40	0,03	0,03	945
9 Cr-Mo	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	—	1,22	11,94	1,48	0,97	0,34	0,01	0,03	940

CUADRO N.º 23

Análisis químico de las capas corroídas de varias clases de aceros en contacto con vapor a unos 815° C durante 500 horas

Clase de acero	Análisis químico en la fusión %								Análisis químico de las capas corroídas %						Tempe- ratura del vapor °C
									Zona media			Zona exterior			
	C	Mn	Ph	S	Si	Cr	Ni	Mo	Cr	Si	Mo	Cr	Si	Mo	
3 Cr-Mo	0,11	0,51	0,014	0,016	0,36	2,95	—	0,98	5,08	0,58	1,65	1,07	0,06	0,15	815
4-6 Cr-Mo	0,11	0,33	0,020	0,027	0,28	5,66	0,22	0,50	9,38	0,49	0,84	0,32	0,03	0,025	815
7 Cr-Mo	0,11	0,43	0,012	0,011	0,92	7,33	—	0,59	8,86	1,15	0,70	1,07	0,17	0,025	818
9 Cr-Mo	0,11	0,38	0,010	0,016	0,27	9,00	—	1,22	12,35	0,26	1,54	2,06	0,09	0,29	818

ner aceros resistentes a la corrosión es preciso contar con proporción suficientemente alta de dichos elementos constitutivos de la aleación que permitan una amplia difusión de los mismos y den origen a capas densas en la zona media e interior, que sirvan de pro-

tección definitiva al primitivo metal. Estas finales conclusiones de carácter general están también de acuerdo con los trabajos y deducciones prácticas obtenidas por otros investigadores, tales como Clark y Mc Collan, realizadas sobre aceros oxidados en contacto del aire.

ANEXO NUM. 3

LA RENOVACIÓN DE LAS TÉRMICAS, LOS FERROCARRILES Y LOS TRANSPORTES MARÍTIMOS

Con objeto de recoger de una manera resumida algunas cifras que nos concreten claramente las ventajas reales de las altas presiones y temperaturas en cuanto a sus tres principales aplicaciones se refieren, vamos a dar a continuación algunos datos relativos a las centrales térmicas de Estados Unidos y de España, estableciendo, aunque sólo sea teóricamente, las mejoras que en el caso de nuestro país podrían obtenerse.

Durante mis viajes realizados a Norteamérica, he podido obtener diferentes informaciones sobre este particular (1) que voy a recoger en lo que a la producción de energía térmica se refiere, teniendo muy presente que ésta equivale en dicho país al 70 % de la energía eléctrica total producida. Las centrales vi-

sitadas, con sus características, son las incluidas en el cuadro núm. 1.

Como aclaración al mismo, hemos de hacer las siguientes observaciones:

Waterside y Fisk.—Se trata de dos grandes supercentrales que originariamente trabajaron a baja presión y que han sido modernizadas con la adición de calderas y turbogeneradores de alta presión, utilizando el vapor de escape de éstos para alimentar las viejas turbinas que se conservaban en buen estado. Se han desechado en general las antiguas calderas para utilizar mejor el espacio disponible, pues no hay que olvidar que ambas están emplazadas en el corazón de dos pobladísimas ciudades, como son New-York y Chicago.

La primera, que antes de su renovación consumía unas 6.300 cal/Kwh, ha reducido esta cifra aproximadamente a la mitad, con la adición de las nuevas unidades en alta presión, de potencias hasta 60.000 kilovatios por eje y consumo neto de 2.950 cal/Kwh.

La segunda, donde está emplazado uno de los mayores turbogeneradores del mundo, de 147.000 Kw, con un consumo neto de 2.771 cal/Kwh, ha disminuído su

CUADRO N.º 1

Resumen de las Centrales térmicas visitadas

Nombre de la Central	Localidad	Potencia total Kw	Potencia parcial Kw	Presión vapor Kg/cm ²	Temperatura vapor °C	Consumo medio calor cal/Kwh
Waterside	New-York	497.000	262.000 235.000	13 88	260 500	3.275
Fisk	Chicago	308.000	161.000 147.000	14 88	270 500	3.025
Glenwood	Long-Island	174.000	174.000	30	400	3.650
Sherman Creek	New-York	123.000	73.000 50.000	14 112	260 510	3.200
Westover	Binghanton	108.000	58.000 50.000	14-30 63	260-350 450	3.250
Atlantic City	Atlantic City	80.000	55.000 25.000	14 109	250 515	3.300
F. R. Phillips	Pittsburgh	60.000	60.000	74	485	2.975
Dresden	Dresden	40.000	40.000	51	440	3.015

gasto térmico global desde 5.050 a 3.025 cal/Kwh, es decir, un 40 %.

Glenwood.—Una gran central que trabaja en la zona límite de bajas y medias presiones, que por su estado de conservación no ha sido renovada. No obstante, la empresa explotadora prevé ya la ampliación de sus recursos con una nueva instalación en alta presión.

Sherman Creek.—Se trata de otra gran central en completa renovación y ampliación de sus principales elementos, para pasar de los 14 a los 112 Kg/cm², utilizando el mismo edificio y sin cesar en sus suministros. Las nuevas calderas, de las que trabaja ya una, serán las mayores del mundo, con una vaporización de 454 Tm/h, y rendimiento del 89 %.

Se instalarán cuatro, sirviendo cada una a un grupo de 50.000 Kw en alta presión, cuyo consumo específico es de 2.610 cal/Kwh, y con cuyo vapor de escape trabaja a su vez otra turbina de baja presión de 49.000 Kw.

Westover y Atlantic City.—Centrales comparables ya a algunas de las proyectadas en España, también en franco período de transformación para trabajo en alta presión y con consumos muy favorables a pesar de no haber sido todavía completamente renovadas.

F. R. Phillips y Dresden.—Dos modernas centrales comprendidas en la zona inferior de las altas presiones y, por el momento, con potencias asequibles a las nuestras, puesto que en breve serán ampliadas a 240.000 y 90.000 Kw, respectivamente. La primera con un solo grupo de 60.000 Kw, y dos calderas de 112 Tm/h, la segunda con dos grupos de 20.000 Kw, servidos por dos calderas de 50 Tm/h, y otra de 100 Tm/h, para mayor elasticidad de marcha. Sus consumos, como es lógico, son de los más reducidos del conjunto.

Ateniéndose a los datos más generales sobre el conjunto de las centrales térmicas de potencias superiores a 20.000 Kw utilizando medias y altas presiones, sabemos que su consumo medio de carbón oscila alrededor de los 600 g/Kwh (cifra inferior a la mitad de la consumida con las antiguas instalaciones de baja presión de 1920) para un carbón de potencia calorífica media del orden de los 6.700 cal/Kg.; es decir, que el consumo específico medio de calor puede admitirse para estas centrales como de unas 4.000 cal/Kwh.

Los gastos de primer establecimiento son muy va-

riables, por tratarse de una suma cuyos diversos sumandos cambian a veces notablemente, según las diversas circunstancias que concurren en cada caso particular. No obstante, citaremos los valores límites de 1.100 a 1.700 pesetas por kilovatio instalado, entre los que han venido oscilando los costes de las últimas instalaciones con potencias a partir de los 20.000 Kw.

En general, los precios para centrales en alta presión, difirieron muy poco de los de media y baja, siempre que el estudio relativo fué considerado en toda su extensión, llegándose incluso a valores más reducidos, como los que citamos a continuación para dos centrales análogas:

Coste de las instalaciones	Central de Toronto 140.000 Kw a 28 Kg/cm ²	Central Deep water 159.000 Kw a 98 Kg/cm ²
Terrenos y explanaciones	27,0 ptas/Kw	19,0 ptas/Kw
Parque de carbones	48,6 id.	49,3 id.
Obras fluviales	—	29,5 id.
Fundaciones	175,2 id.	45,8 id.
Edificios	118,6 id.	111,8 id.
Tuberías (sin la de circulación de agua) ..	52,3 id.	56,0 id.
Instalaciones de la Sala de Calderas	257,5 id.	341,1 id.
Instalaciones de la Sala de Máquinas	291,2 id.	234,7 id.
Interrupidores automáticos y accesorios eléctricos	133,2 id.	98,8 id.
Instalaciones de servicio propio de la Central	26,7 id.	59,1 id.
Alimentación de carbón	51,4 id.	35,1 id.
Subestación eléctrica	73,5 id.	72,8 id.
Trabajos de puesta en marcha	8,1 id.	5,5 id.
TOTAL COSTE	1.263,3 ptas/Kw	1.158,5 ptas/Kw

En cuanto a los gastos de explotación de las centrales térmicas norteamericanas, su distribución puede resumirse como sigue:

a) Gastos fijos:

Interés del capital	4	a 8	% del capital invertido.
Impuestos varios	2	a 5	% del capital invertido.
Depreciación y amortización	1	a 5	% del capital invertido.
Seguros	0,05	a 0,3	% del capital invertido.

b) Gastos variables:

Carbón	75 a 85	% del total gastos variables.
Reparaciones	5 a 20	% del total gastos variables.
Mano de obra	5 a 15	% del total gastos variables.
Otras materias fungibles ..	1 a 5	% del total gastos variables.
Seguros sociales	0 a 10	% del total gastos variables.
Personal técnico	1 a 2	% del total gastos variables.

Normalmente, el capítulo más importante es el correspondiente a combustible, cuyo coste medio actual varía según las calidades y lugares de consumo entre 20 y 75 pesetas tonelada métrica, con poderes calo-

ríficos que suelen oscilar entre 5.750 y 8.200 cal/Kg., si bien usualmente el precio del carbón suele referirse al millón de unidades caloríficas.

Por otra parte, y correlativamente a lo anterior, el precio de venta al público de la energía eléctrica producida ha experimentado una sensible baja en este espacio de tiempo, no sólo por las mejoras introducidas en las instalaciones, sino también por su mayor utilización, como puede observarse en el siguiente cuadro:

Utilización de la energía	Año 1920	Año 1945	Rebaja
Metro y ferrocarriles	11,1 ct/Kwh	9,1 ct/Kwh	18 %
Grandes usos industriales	17,0 id.	10,2 id.	40 %
Usos domésticos	80,3 id.	37,6 id.	53 %
Precio medio global	30,3 id.	18,8 id.	38 %

Y no es difícil actualmente encontrar en la Prensa americana que el principal motivo de propaganda de algunas empresas eléctricas lo sea el de reducción de sus tarifas, hecho éste verdaderamente insólito entre nosotros.

La tendencia en los Estados Unidos es francamente favorable a la alta presión, como hemos podido observar por lo anterior, confirmándolo así J. A. Powell y M. J. Lowenberg, ingenieros de la Stone & Webster Engineering Co., en diciembre de 1947, al extractar las cifras siguientes:

De las 164 turbinas de vapor, de potencia supe-

rior a 10.000 Kw adquiridas en Norteamérica en el año mayo 1946-mayo 1947, con una potencia total de 7.206.750 Kw, el 50 % aproximadamente de ellas lo fué para presiones de trabajo del orden de 60 Kg/cm² y 485° C, el 21 % alcanzaron presiones hasta de unos 90 Kg/cm² y 535° C, y un 16 % sobrepasaron estas cifras, alcanzando unos 120 Kg/cm² y 565° C el resto, es decir, un 13 % fueron de presiones inferiores.

Si nos detenemos a examinar ahora las centrales térmicas españolas en funcionamiento y con potencias superiores a 10.000 Kw, podemos resumirlas en el cuadro núm. 2.

Si estas antiguas térmicas fueron renovadas y modernizadas en alta presión, con un consumo medio de 4.000 cal/Kwh, el ahorro de combustible podría cifrarse aproximadamente en unas 300.000 Tm., para una producción de energía análoga a la del año 1946, último del que se han publicado datos estadísticos.

Bien es verdad que las nuevas centrales termoeléctricas en construcción tienden ya en parte a la utilización de presiones medias y altas, pero es urgente la renovación total de las anticuadas instalaciones, que emplean el combustible nacional en una forma verdaderamente antieconómica.

En cuanto a los ferrocarriles, conviene citar que ya en Europa, hacia 1930, se construyó la primera locomotora de ensayo a hiperpresión, del orden de los 100 Kg/cm² y 500° C, siguiendo las patentes Löffler. Su potencia era de unos 2.500 CV, y podía

Cuadro n.º 2
Centrales térmicas españolas.—Datos correspondiente al año 1946

Nombre de la Empresa	Emplazamiento	Potencia instalada Kw	Potencia obtenida Kw	Producción Kwh	Consumo carbón Tm.	Potencia calorífica cal/Kg	Consumo calor cal/Kwh	Caract. vapor	
								at.	° C
A. H. de Vizcaya	Sestao	21.300	14.100	33.456.000	46.838	6.700	9.375	13	320
Compañía Barcelonesa de Electricidad	Barcelona	27.000	25.300	47.021.900	52.998	5.500	6.200	13	350
Cía. Eléctrica de Langreo	La Felguera	21.000	12.000	59.327.100	100.871	4.000	6.850	13	340
Cía. Eléctrica de Langreo	Sotón	11.000	9.000	49.439.800	86.078	4.000	6.950	13	340
Cía. Flúido Eléctrico	San Adrián	35.000	18.700	68.119.700	50.424	5.500	4.050	26	402
Cía. Luz y Fuerza de Levante	Valencia	15.000	8.400	19.454.980	21.087	6.500	7.000	20	375
Cía. Sevillana de Electricidad	Sevilla	15.000	12.300	52.908.000	72.974	5.400	7.440	12,6	325
E. E. de Cataluña	Figols	14.400	14.400	71.992.620	66.765	4.650	4.320	25	425
Iberduero, S. A.	Burceña	12.500	12.200	30.042.141	28.479	6.300	6.000	14	350
S. A. Electra de Viesgo	Ujo	12.000	12.000	37.360.300	32.358	7.000	6.060	13,5	350
S. Hidroeléctrica Española	Madrid	12.400	9.000	16.501.880	21.304	5.000	6.400	12	350
S. M. M. de Peñarroya	Peñarroya	15.500	9.800	46.962.173	83.374	5.400	9.550	17	350
S. M. M. de Peñarroya	Puertollano	18.900	9.500	42.438.050	86.902	4.800	9.850	14	385
Unión Eléctrica Madrileña	Madrid	12.000	6.500	20.544.842	25.498	4.900	6.080	15	375
Valores medios						5.020	6.700		
TOTALES		243.000	173.200	595.569.486	775.950				

mover un tren expreso de 800 Tm. a la velocidad de 110 Km/h.

Posteriormente han sido muchos los ensayos y se han computado con detenimiento las ventajas del empleo de las altas presiones en cuanto a la economía del carbón y de agua, que compensan las dificultades inherentes a estas locomotoras y los posibles peligros que de ella pudieran derivarse. Si bien conviene advertir que éstos no son, en general, mayores que en las de baja presión, y que el caso de explosión queda completamente eliminado con la disposición adoptada para este moderno material de tracción.

El radio de acción de una locomotora de este tipo es aproximadamente de unos 600 Km, y su peso en plena carga es inferior en un 15 % al de una de baja presión. Se han conseguido rendimientos en caldera muy próximos al 88 %.

Si nos fijamos en el consumo total de carbón de los ferrocarriles españoles, que en el año 1946 ha sido de unos 3.136.000 Tm y suponemos que con las locomotoras de alta presión pueda economizarse tan sólo un 8 % por término medio, teniendo en cuenta que no podría substituirse por completo la totalidad del material de tracción, el ahorro de combustible sería de unas 250.000 Tm.

Lo mismo que hemos dicho para las centrales térmicas y los ferrocarriles, puede aplicarse también a los transportes marítimos, en los cuales puede también emplearse con buen éxito el vapor a alta presión, con mejoras de rendimiento que pueden oscilar entre el 20 y el 32 %, debido a la mayor potencia instalada en buques de importante tonelaje, con la ventaja para la Marina de guerra de disminuir las dimensiones de la maquinaria, dotándolas de mayor eficacia combativa. En España, el consumo de carbón para estos fines en 1946 se descompone como sigue:

Marina de guerra	71.400 Tm.
Marina mercante	643.000 »
Buques pesqueros	350.000 »
TOTAL	1.064.400 Tm.

y tomando un ahorro como término medio tan sólo de 12 % economizaríamos unas 125.000 Tm de combustible.

En resumen, el ahorro de carbón en estas tres im-

portantes aplicaciones industriales con el empleo de las altas presiones y temperaturas sería el siguiente:

Centrales térmicas	300.000 Tm
Ferrocarriles	250.000 »
Transportes marítimos	170.000 »
TOTAL	720.000 Tm.

lo que representa el 6 % de la producción total de carbón en España y equivale a algo más del consumo global de la Marina mercante y de guerra.

Creemos que las cifras anteriores son suficientes para demostrarnos la indudable atención que debe prestarse en nuestro país a la utilización de las altas presiones en las principales aplicaciones de la Termodinámica.

CONCLUSIONES FINALES

A modo de resumen final, vamos a sintetizar seguidamente en unas breves conclusiones lo más importante de cuanto llevamos dicho, tratando de resaltar la necesidad de prestar el debido interés a esta moderna técnica en beneficio de nuestra economía nacional, en industrias tan vitales como son los transportes, la minería del carbón y la producción de energía eléctrica.

A.—VENTAJAS DERIVADAS DEL EMPLEO DEL VAPOR A ALTAS PRESIONES Y TEMPERATURAS

El rendimiento de los ciclos de vapor de agua aumenta siempre con la presión y la temperatura de admisión, y se llega a obtener en el ciclo total, partiendo de la caldera y turbina de vapor, rendimientos termodinámicos superiores al del motor Diesel.

A partir de la zona de las medias presiones con una reducida cantidad de calor puede conseguirse un notable aumento de la presión. Esto equivale a un mejor rendimiento con un débil gasto de energía calorífica.

El calor de vaporización del agua disminuye al crecer la temperatura, hasta llegar a ser cero en el punto crítico, y, como consecuencia, en las calderas de alta presión el economizador es prácticamente su elemento fundamental.

Se deduce de lo anterior, que el calor necesario para producir vapor saturado a muy alta presión no es su-

perior al que se precisa para obtenerlo en baja presión, lo que a su vez ha sido confirmado por la experiencia.

El calor específico del vapor de agua disminuye también al crecer la presión, lo que equivale a un menor valor del calor total de recalentamiento del mismo. En definitiva, la cantidad de combustible utilizado que se transforma en calor y que es necesario transmitir al agua para transformarla en vapor recalentado, decrece siempre cuando la presión aumenta.

El coste de una instalación termoelectrica completa a muy alta presión es ligeramente superior o igual a otra de baja presión y de potencia análoga.

El ahorro de combustible en una instalación a alta presión amortiza sobradamente el posible mayor coste inicial de la misma.

El precio de venta de la energía eléctrica producida en una central de vapor a hiperpresión, es menor que en otra análoga de baja presión o con motores de combustión interna.

La economía total lograda en un ciclo de alta presión alcanza su valor máximo, si es posible aprovechar en sus últimas etapas la degradación de la energía térmica, utilizando el calor procedente del escape de la turbina en otras instalaciones industriales próximas o en procesos de calefacción urbana.

El desarrollo de la técnica del vapor a muy alta presión permitirá posiblemente substituir incluso al motor Diesel en las aplicaciones del transporte aéreo.

B.—LOS AVANCES DE LA INVESTIGACIÓN EN ESTADOS UNIDOS SOBRE ESTA TÉCNICA

Como cuestión previa es preciso disponer de un generador de vapor a muy alta presión, con preferencia hasta la presión crítica, que con las instalaciones adecuadas permita efectuar en cada caso particular los experimentos necesarios, si bien el ingenio de los investigadores permitirá el desarrollo, en cada nuevo ensayo, de mejores instalaciones y de diferentes técnicas, cada vez más idóneas.

La experiencia comprobó que, al aumentar la presión, el economizador de la caldera adquiere mayor preponderancia, y que disminuye paralelamente la del circuito evaporador, que es más sensible a las variaciones de la vaporización. Adquiere también al propio tiempo mayor estabilidad el recalentador de vapor

con las altas presiones. Se han obtenido diversos datos complementarios sobre características físicas del vapor que circula a través de circuitos tubulares paralelos conectados a colectores comunes.

En sucesivos ensayos han podido comprobarse y establecerse, con un error despreciable, diversas características termodinámicas del vapor de agua hasta hace poco no muy bien conocidas, tales como el volumen específico, la entalpia, el calor específico, la viscosidad, la conductibilidad térmica, etc.; sin embargo, en las proximidades del punto crítico los resultados no han llegado a ser del todo concluyentes, lo que deja al campo de la investigación un amplio margen en esta zona de difícil conocimiento.

Se han realizado tres grupos o series de experimentos para concretar la acción corrosiva del vapor a elevadas temperaturas sobre muestras de aceros sometidos o no a la acción simultánea de esfuerzos de tracción, equivalentes al efecto producido por las altas presiones.

De los ensayos realizados sobre aleaciones de aceros no sometidos a tracción, resumimos lo que sigue:

La proporción del contenido de cromo tiene una influencia fundamental sobre el grado de corrosión logrado por el vapor a elevada temperatura.

La oxidación de las muestras ensayadas aumenta rápidamente durante el período inicial de exposición a la acción del vapor, y disminuye más tarde progresivamente al aumentar la duración de la prueba.

De manera general las distintas calidades de acero pudieron clasificarse al terminar los ensayos en tres grandes grupos:

- 1.º Con formación de una capa corroída, delgada, porosa y adherente.
Inclúyese en él los aceros de bajo contenido en carbono, carbono-molibdeno y con débil proporción de cromo.
- 2.º Con formación de una capa corroída muy frágil y fácil de desprender con las oscilaciones de temperatura.
Comprende las aleaciones de contenido medio de cromo y las compuestas de éste con molibdeno, aluminio y silicio.
- 3.º Con formación de una capa corroída muy delgada compacta y sumamente adherida al metal básico.

Los aceros con mayor proporción de cromo forman principalmente este último grupo.

En los ensayos con tubos se comprobó la mayor dificultad a desprenderse la capa corroída en las superficies internas que en las exteriores.

Para la separación de las capas corroídas se intentaron diferentes métodos, casi todos de gran interés, y se aceptó como más apropiado el electrolítico.

Las investigaciones relativas a la acción del vapor de agua sobre aceros sometidos a esfuerzos de tracción, demostraron principalmente lo siguiente:

En general, los esfuerzos aplicados no tuvieron una influencia importante sobre el grado de corrosión, lo que diferenció la acción decisiva de la temperatura elevada sobre la oxidación obtenida.

No se produjeron ataques intergranulares sobre las aleaciones tratadas, a excepción de los correspondientes a los aceros al carbono-molibdeno.

Al crecer la proporción de cromo disminuye también notablemente en este caso la oxidación producida por el vapor de agua a elevada temperatura.

Por último, en las investigaciones sobre aceros a elevadísima temperatura, se comprobó la existencia de una temperatura crítica para cada calidad de la aleación, a partir de la cual se presenta una rápida corrosión; este límite de la temperatura suele aumentar con la proporción de cromo.

De los datos obtenidos pudieron obtenerse ecuaciones empíricas bastante simples que permiten determinar el grado de corrosión producido por el vapor de agua a una cierta y muy elevada temperatura al finalizar un determinado período de tiempo.

Los análisis de las capas corroídas demostraron la influencia de la concentración de cromo, silicio y molibdeno en la zona central de la capa afectada, que adquiere una mayor densidad y protege al metal contra la acción corrosiva del vapor de agua.

Como en los casos anteriores, el cromo fué el elemento fundamental en la limitación del grado de oxidación finalmente producido.

C.—LA RENOVACIÓN DE LAS TÉRMICAS, LOS FERROCARRILES Y LOS TRANSPORTES MARÍTIMOS

Si las antiguas térmicas españolas se substituyeran por otras modernas de media y alta presión, su con-

sumo específico de calor, que ha venido oscilando entre las 6.700 y 7.000 cal/Kwh, podría reducirse a unas 4.000 cal/Kwh, lo que equivale a un ahorro de combustible de unas 300.000 Tm. por cada campaña anual.

Análogamente, si la mayor parte del material de tracción de los ferrocarriles españoles que consume carbón se substituye por otro más idóneo con calderas de más elevada presión, la economía de combustible podría ser del orden de unas 250.000 Tm anuales.

Los transportes marítimos también susceptibles del empleo de las altas presiones podrían disminuir su consumo de combustibles, estipulándose que en España dicha disminución sería de unas 170.000 Tm por año, partiendo de las cifras relativas a 1946.

En conjunto, el ahorro total de carbón en estas tres principales aplicaciones termodinámicas sería de 720.000 Tm anuales, es decir el 6 % de la producción total de combustibles sólidos de nuestro país.

D.—PROGRAMA QUE SE DEBERÍA DESARROLLAR EN ESPAÑA RESPECTO A LA INVESTIGACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL VAPOR A ELEVADAS PRESIONES Y TEMPERATURAS

1.º Como cuestión previa debería constituirse una *Comisión para el estudio de las aplicaciones del vapor a muy alta presión*, de la cual deberían formar parte algunos especialistas de las más importantes empresas constructoras de calderas establecidas en España.

2.º La citada Comisión, con la ayuda económica del Estado y de las empresas privadas especialmente interesadas, iniciaría un doble programa de investigación y divulgación de la técnica del vapor a elevadas presiones.

3.º El plan de investigación comprenderá a su vez dos etapas que habrá que desarrollar casi simultáneamente, a saber: recopilación completa de datos e informaciones sobre los últimos adelantos de esta rama de la termodinámica, mediante el estudio en el extranjero de varios técnicos que serían pensionados y autorizados expresamente por la Comisión.

Adquisición de las instalaciones y elementos necesarios para montar en España un laboratorio de vapor a muy alta presión e iniciación posterior de las

investigaciones, contando seguramente con la ayuda económica de algunas grandes empresas constructoras de generadores de vapor.

4.º El programa de divulgación podría a su vez orientarse, por medio de la Comisión, hacia nuestros centros docentes superiores, tanto de Ciencias puras como aplicadas, así como también cerca de las empresas productoras de energía eléctrica, transportes y otras aplicaciones industriales del vapor de agua y también de los fabricantes de calderas de vapor.

5.º La Comisión colaboraría a su vez con los Or-

ganismos e investigadores más destacados en el extranjero, entre ellos la Universidad de Purdue, Indiana (EE. UU.), que, por mediación del profesor Solberg, nos ofreció su ayuda inicial.

6.º Deberá estudiar a su vez la Comisión todos los problemas de índole económico que la investigación y el desarrollo industrial de las aplicaciones del vapor a muy altas presiones y temperaturas pudiera originar en nuestro país, y proponer a la Superioridad las medidas prácticas más aconsejables en beneficio de la economía nacional.

A las conclusiones de este documentado trabajo, no se presenta ninguna enmienda.

Concedida la palabra al Sr. D. Juan Antonio Kindelán, da a conocer el siguiente estudio:

N.º 64. - Aprovechamiento de la energía interna de la tierra

Autor: D. JUAN ANTONIO KINDELÁN

Ingeniero de Minas

EXPOSICIÓN

La esfera terrestre, como es sobradamente conocido, encierra enormes cantidades de energía térmica, que se manifiesta por el flujo de calor que sale a la superficie y que origina un gradiente de temperatura, de tal modo que, al profundizar en la superficie, se encuentran las rocas a temperaturas que crecen con la profundidad.

Claro es que la mayor parte de este calor encerrado en la Tierra, escapa a nuestras posibilidades de captación; pero, aún en una débil profundidad en la corteza, la cantidad de calor encerrado en los terrenos es enorme, y parte de esta energía superficial es la que se pretende aprovechar, con el sistema que se estudia.

Este estudio se realiza, porque se considera que con el perfeccionamiento de la técnica de sondeos se está ya en condiciones de poder llegar a temperaturas suficientes, para originar saltos de calor aprovechables, mediante su transformación en energía, e iniciar, así, una nueva fuente de producción, cuyos horizontes son de amplitud insospechada.

Teniendo en cuenta la pequeña conductibilidad caloríficas de las rocas, no parece posible el caldeo direc-

to de generadores en contacto con los terrenos y se precisa un fluido que circule por las enormes superficies de caldeo, que representan los terrenos permeables, fluido que no puede ser otro que el agua, encerrada en estratos permeables profundos.

El sistema que se estudia consiste, pues, en realizar sondeos, para alumbrar aguas de gran profundidad, que se encuentran a temperatura elevada, pero en estado líquido, por estar sometidas a presiones superiores a las de ebullición. Estas aguas, a presiones inferiores, producen vapor, a expensas de su propio calor, que pueden utilizarse en máquinas térmicas.

Las profundidades que es preciso alcanzar son, como veremos más adelante, completamente asequibles para la técnica actual de sondeos y, por ello, el sistema que se propone no es utópico, sino totalmente real y de actualidad. A este efecto se ha procurado hacer el estudio con franca orientación hacia la práctica, realizando el análisis de cada extremo no sólo con las necesarias consideraciones teóricas, sino aportando observaciones y datos experimentales.

La exposición del estudio se divide en cuatro capítulos: en el primero se estudia la zona que puede dominarse en la actualidad, con la técnica moderna de

sondeos y las características térmicas a distintas profundidades.

En el capítulo segundo se estudian los posibles sistemas de captación de la energía, y se elige como mejor el aprovechamiento por medio de las aguas profundas. En el mismo, se analizan las posibilidades de existencia de horizontes permeables y fisurados en profundidad, así como la de los mantos artesianos y profundos y las características de estas aguas.

En el tercer capítulo se estudia termodinámicamente el aprovechamiento, y se deducen las potencias y producción posibles en función de la profundidad. Se incluye un análisis económico del aprovechamiento.

Por último, en el capítulo cuarto se hacen las necesarias propuestas para acometer las investigaciones y el aprovechamiento energético.

Cap. I.—ZONA ENERGÉTICA DE DOMINIO ACTUAL

1.—TEMPERATURAS ASEQUIBLES

1.1.—Gradiente de temperatura

En todos los parajes en donde se ha perforado la corteza terrestre con obras mineras, túneles o sondeos, se ha comprobado que la temperatura de las rocas crece con la profundidad.

Existe, pues, un gradiente de temperatura, positivo en sentido centrípeto, y como entre dos puntos separados por una materia más o menos conductora se transmite calor desde el más caliente al de menos temperatura, debemos concluir que existe un flujo centrífugo continuo de calor.

No disponemos de suficientes datos concretos para juzgar si este flujo de calor procede del que conserva el Globo desde su época estelar; si es producido en la actualidad por reacciones químicas, fenómenos radioactivos o radiaciones de otra índole, o si procede de núcleos calientes (magmas), formados por diversas causas, irregularmente y a distintas profundidades.

No se puede negar fundamentalmente la existencia de las dos primeras causas; pero es indudable que la última tiene importancia destacada, como lo indican las diferencias que se han encontrado en la magnitud del flujo térmico en distintos parajes.

Los magmas, formados generalmente por la ener-

gía mecánica de resbalamientos o movimientos de los bloques continentales, han de desarrollarse lógicamente con más amplitud en las zonas de fractura, y su posición en la vertical ha de ser también variable.

Como vamos a ver, el flujo térmico que atraviesa los estratos es variable de unos parajes a otros, y, por otra parte, las diferencias de la conductibilidad media de las rocas es relativamente pequeña, y aunque en algún caso puede tener influencia, en general no justifica las diferencias de flujo térmico. Por consiguiente, estas diferencias sólo pueden ser debidas a la variación de la profundidad del foco de calor o a la mayor temperatura de éste; circunstancias que nos hace relacionar el citado flujo con las masas magnéticas.

La generalización de este flujo de calor hasta el centro de la Tierra no parece admisible, pues la temperatura pasaría de 200.000 grados, lo cual no es concebible, y, en todo caso, correspondería a vibraciones que ya no serían caloríficas: en realidad sólo podemos hablar del flujo térmico en la corteza, y experimentalmente sólo en reducidísima capa de esta corteza.

1.2.—Grado geotérmico

El gradiente de temperatura de la corteza terrestre se mide por el «grado geotérmico», que es el incremento de profundidad, en metros, que se precisa para obtener un incremento de temperatura de un grado.

De las muchas mediciones que se han realizado en distintos parajes, se han obtenido medias de 28 a 32 metros. No obstante, estas medidas son difíciles de realizar con exactitud: en la mayoría de las obras mineras, cuando se profundiza suficientemente para poder medir el «grado» con alguna precisión, se hace necesaria la ventilación, la cual refrigera las rocas, y como debido a la pequeña conductibilidad de éstas el calor transmitido por unidad de superficie es muy pequeño, es fácil cometer errores al medir la temperatura. Esta dificultad es mucho mayor en los sondeos, pues por la intensa circulación de agua, necesaria para realizar la perforación, están intensamente refrigerados y los errores son mucho más importantes.

Pero, de todos modos, un «grado geotérmico» medio de 30 metros parece aproximarse suficientemente a la realidad, y, en todo caso, los errores citados influirían en el sentido de alargar el grado medio con rela-

ción al real. Por tanto, se puede admitir que allí donde no existan circunstancias especiales, cada 30 metros de profundidad aumenta un grado la temperatura de las rocas.

Sin embargo, existen muchos parajes en donde el grado geométrico es mucho menor por la cercana existencia de rocas ígneas, bien en forma de magmas encerrados a mayor o menor profundidad o alimentadoras de aparatos de emisión.

Así, en las zonas volcánicas, el grado geotérmico es muy reducido, más aún si aquéllas están en actividad; pero en todo caso es pequeño para las zonas volcánicas «apagadas».

En España existen, en Cataluña, Murcia, Alicante y otras regiones, zonas volcánicas con grado geotérmico pequeño.

En Canarias, cuyo vulcanismo no está aún extinguido, el grado geotérmico es reducido. El caso de la Montaña de Fuego es conocido, y en ella, a menos de un metro de profundidad, se encuentran temperaturas de orden de los 60 a 80°; pero no hay que confundir el grado geotérmico general con estos fenómenos que a veces se producen en los volcanes, y que son debidos, la mayor parte de las veces, no al propio flujo de calor transmitido a través de las rocas, sino al calor arrastrado por convección, por gases que salen de zonas profundas de elevada temperatura, los cuales calientan las suprayacentes si éstas son porosas o fisuradas.

Otras circunstancias, como el fondo de los mares, el seno de montañas elevadas, etc., modifican, asimismo, el grado geotérmico.

Por tanto, podemos concluir que en la superficie terrestre se puede contar al menos con un grado geotérmico medio de 30 metros, pero existen muchos parajes en que este grado es mucho menor.

Es interesante estudiar la influencia en el grado geotérmico de las aguas subterráneas: Si estas aguas circulan con velocidad apreciable, indudablemente enfriarían las rocas y modificarían notablemente el grado geotérmico, como asimismo ocurriría en una hipotética capacidad subterránea de dimensiones verticales importantes, en donde las aguas, calentadas en la zona inferior, arrastrarían el calor hacia arriba, suavizando el gradiente de temperatura.

Pero el caso de las aguas encerradas a gran profundidad no puede ser el citado, sino que se encuen-

tran entre las masas porosas o fisuradas con muy pequeña velocidad de circulación. Por ello, la convección es prácticamente nula, y en cuanto a la elevación por densidad de las aguas más profundas la capilaridad en los poros y fisuras anula el esfuerzo ascendente. Por ello, un manto acuífero encerrado a determinada profundidad, aún con dimensiones verticales relativamente grandes no modifica sensiblemente el grado geotérmico.

1 - 3.—*Profundidades asequibles en la actualidad*

La técnica moderna de sondeos permite llegar con rapidez a grandes profundidades; avance que se ha debido principalmente a las exigencias de las investigaciones petrolíferas.

La aplicación del sistema llamado «rotary» con fresas o piñas rotativas de gran avance, permite la profundización de los sondeos rápidamente, con muy pocos cambios de sección, merced al sostenimiento de las paredes por la misma presión hidrostática, previamente impermeabilizadas por el empleo de suspensiones coloidales de arcillas (bentonitas).

Toda una técnica (teórica y práctica) se ha desarrollado con este sistema, y en la actualidad todos los problemas de los sondeos profundos tienen, en este método, adecuada solución.

Por ello, los sondeos del orden de los 3.000 metros son, pudiéramos decir, corrientes. Al aumentar la profundidad las dificultades son mayores, pues no hay duda de que un varillaje de varios kilómetros, que transmite el esfuerzo hasta el fondo del sondeo, es delicado, y, asimismo, los problemas de elevación del equipo y de circulación se complican; pero en realidad todo ello se resuelve con mayores potencias de la máquina perforadora y diversos elementos auxiliares para resolver los inconvenientes accesorios.

Tanto es así, que en los Estados Unidos se ha llegado a profundidades de 5.500 metros, y el dominio de los 6.000 metros no es ya problema. Añadiremos, además, que estas profundidades «records» no se han hecho, como es lógico, con criterio «deportivo», sino por necesidades de la investigación y, por tanto, si ésta exigiera más, la técnica de sondeos llegará adonde se le pida, pues el problema lo tiene dominado y sólo es cuestión de proyecto y fabricación de maqui-

Pero como es nuestro criterio referirnos exclusiva-

mente a las posibilidades inmediatas, limitamos la profundidad que consideramos posible en la actualidad a 6.000 metros.

1 - 4.—*Salto de temperatura aprovechables*

Si consideramos el grado geométrico medio de 30 metros para alcanzar una temperatura de 80°, partiendo de una temperatura media superficial de 10°, se precisa profundidad de 2.330 metros y ya la temperatura de 80° representa un salto de calor aprovechable, puesto que, si suponemos es el agua el vehículo, puede ser aprovechado en calderas subatmosféricas, con presiones reducidas de condensación. Es decir, que con profundidades del orden 2.500 m. ya se puede tener un salto de calor aprovechable; esta profundidad es normal en los sondeos, y en España se han realizado algunos de este orden de profundidad.

A la profundidad de 6.000 metros, límite de profundidad que hemos admitido para la técnica actual de perforación, la temperatura es del orden de 210°, y a esta temperatura la presión del vapor de agua saturado es de 15,89 Kg/cm²; es decir, que podría obtenerse vapor a unas 16 atmósferas de presión, con un salto importante de calor.

1 - 5.—*Zona energética de dominio actual.*

Por tanto, podemos concluir que la zona energética de dominio actual, para el aprovechamiento del calor interno de la Tierra, está comprendida entre 2.500 y 6.000 metros de profundidad.

Dentro de esta zona, cuanto mayor sea la profundidad, mayor será el salto de calor disponible, y, por tanto, mayor el aprovechamiento de energía.

Cap. II.—POSIBILIDADES DE CAPTACIÓN DE LA ENERGÍA

3/1.—SISTEMAS POSIBLES

3 / 1 - 1.—*Caldeo directo*

El sistema que inmediatamente se ocurre para aprovechar el calor del subsuelo, es introducir un hervidor o caldera en un sondeo a profundidad suficiente para obtener una elevada temperatura y aprovechar el vapor producido.

Pero este medio tan simple no es posible emplearlo debido a la pequeña conductibilidad calorífica de las rocas, que hace que el calor que pueden transmitir por unidad de superficie sea pequeñísimo, y, así, Gaëger ha calculado (Física Técnica) que el flujo de calor que atraviesa la corteza terrestre no es suficiente, teniendo en cuenta la radiación, para fundir una película de hielo de 1 cm. de espesor extendida sobre la superficie, supuesta matemáticamente esférica y prescindiendo del calor solar.

Fácil es calcular que, teniendo en cuenta los datos conocidos sobre la conductibilidad de las rocas, si introducimos un hervidor a 5.000 metros, en contacto con las rocas, con grado geotérmico normal, se precisa para obtener una potencia aprovechable de 1.000 kilovatios una superficie de caldeo del orden de los 100.000 m². Esta sola cifra indica la imposibilidad de aplicar el sencillo sistema de caldeo descrito.

3 / 1 - 2.—*Superficie de caldeo natural*

Ahora bien, lo que no nos es posible realizar artificialmente existe en la naturaleza. En efecto: entre las formaciones geológicas se encuentran muchos horizontes constituidos por terrenos porosos o fisurados, los cuales dejan huecos de muy pequeño volumen y, por tanto, de una gran superficie relativa.

Un medio fluido que atraviere estas formaciones presenta una enorme superficie de contacto con las rocas, en relación a su masa, y, por tanto, estas rocas porosas o fisuradas constituyen una superficie natural de caldeo de dimensiones relativas considerables.

El sistema, pues, es el aprovechamiento de estas superficies de caldeo naturales para el calentamiento de agua encerrada en ellas, y captar así el calor de las rocas profundas por intermedio de dichas aguas.

El aprovechamiento se basa, pues, en dos circunstancias principales: 1.ª, existencia de horizontes porosos o fisurados a profundidades relativamente altas; 2.ª, existencia del agua en estos horizontes. Estas circunstancias son las que analizamos a continuación.

3 / 2.—FORMACIONES POROSAS PROFUNDAS

3 / 2 - 1.—*Permanencia de los poros en profundidad*

Las rocas en profundidad sufren presiones de gran importancia debido a la gravitación de las supraya-

centes, y debemos analizar si en la «zona de dominio» pueden conservarse oquedades y poros, pues existe indudablemente una profundidad, en que la carga es superior a la de ruptura de las rocas, y entonces «fluyen» de modo semejante a un metal estampado, rellenando los huecos.

Esto ocurre a una profundidad que, calculada teóricamente, oscila de 30 a 50 Km., según la naturaleza de la roca y de los coeficientes empleados; pero para comprobación experimental de estos cálculos, F. D. Adams sometió cilindros de roca, encerrados en tubos de acero de alta resistencia, a presiones elevadas. Para medir la presión de deformación permanente de las rocas realizó taladros en las probetas, transversales al esfuerzo, midiendo la deformación de estos taladros.

Con probetas de *caliza*, con una presión equivalente al peso de una columna de roca de 24 Km. de altura (es decir, como si estuviera la probeta a esta profundidad), no se notó deformación alguna en los taladros, después de dos meses y medio de mantener dicha carga.

Con presiones equivalentes a 50 Km. de profundidad se observaron deformaciones a la media hora de actuación.

Trabajando a una temperatura de 450°, que corresponde con grado geométrico normal a 15 Km. de profundidad, no se produjo deformación alguna con carga de 16 Km.; el ensayo duró siete horas.

Con probetas de *granito* no se observaron deformaciones con cargo correspondiente a 40 Km. de profundidad, apareciendo estas deformaciones con carga de 36 Km. En caliente, a 550° y con carga de 24 Km., no se observó deformación.

Por tanto, a 6 Km. de profundidad, ocho veces menor que las que produjeron deformaciones permanentes en los experimentos de F. D. Adams, las rocas resisten ampliamente la carga y es necesario admitir, pues, que en la zona de dominio actual los poros o fisuras no pueden ser deformados por la presión.

3 / 2 - 2.—Existencia de horizontes porosos en profundidad

Son notorias las alternaciones de terrenos compactos e impermeables, con otros porosos y permeables, en todas las formaciones geológicas reconocidas.

Los horizontes porosos, generalmente detríticos, conservan su constitución desde su depósito. Sólo en al-

gunas ocasiones los movimientos tectónicos, debido al trabajo mecánico, transformado en energía calorífica o la surrección de masas ígneas, han dado lugar a fenómenos de metamorfismo, con oclusión de los poros; pero de un modo general, los empujes tectónicos han producido movimientos en la vertical de los horizontes permeables, sin modificación sensible en la estructura de aquéllas.

De este modo, dichos estratos permeables han sido llevados, en muchos parajes, al fondo de sinclinales profundos; los recubrieron los sedimentos posteriores y han quedado en la actualidad sumergidos en la corteza terrestre, sin que la carga de las rocas superiores hayan podido modificar su estructura, como hemos demostrado anteriormente.

En cuanto a los terrenos fisurados, como los calcáreos, las fisuras son debidas, por una parte, a los empujes tectónicos de plegamiento y, por otra, a fenómenos de disolución de las aguas, sin que debamos olvidar las oscilaciones térmicas.

Ahora bien, los movimientos tectónicos han influido en la fragmentación de las rocas, con más intensidad allí donde existen plegamientos; es decir, precisamente donde los horizontes se han profundizado en el fondo de sinclinales, y, por tanto, parece natural que las rocas profundas se encuentren fisuradas por esta causa.

En cuanto a los fenómenos de disolución, podría parecer que en la superficie ha de ser más intensa la fisuración, debido a esta causa, por mayor circulación y por meteorización; pero en profundidad, la temperatura de las aguas es muy elevada (210 a 6.000 m.), y el poder de disolución es considerable, por lo cual parecen más probables las fisuras y cavernas en profundidad debidas a la disolución.

Por último, las oscilaciones térmicas diurnas y anuales (y sobre todo los hielos) producen indudablemente abundantes diaclasas en la superficie; pero no hay duda de que variaciones de temperatura de 200°, aunque se hayan realizado lentamente (en períodos de deposición de los horizontes suprayacentes), han debido de producir también fracturas de importancia en los depósitos profundos.

3 / 2 - 3.—Existencia experimental de terrenos porosos profundos

Las anteriores consideraciones se encuentran com-

probadas en la práctica: En primer lugar, por formaciones geológicas estudiadas en muchos parajes, que indican la alternación de horizontes compactos e impermeables a un lado y otro de sinclinales, con análogas características y constitución, que indican la continuidad de la formación en el fondo de los sinclinales, aunque éstos se encuentren recubiertos por otros terrenos.

En las excavaciones mineras profundas y, sobre todo, en los sondeos, que profundizan mucho más, se han encontrado, de modo general, horizontes permeables a muy diferentes profundidades.

Es más, la existencia del petróleo, materia que ha llevado a alcanzar las mayores profundidades de investigación, necesita la existencia de horizontes permeables de almacenamiento, que se han encontrado, cada vez con mayor profundidad, con hidrocarburos o sin ellos.

Por tanto, y por todas las razones que hemos apuntado, teóricas y experimentales, no puede dudarse de la existencia de horizontes permeables en profundidad.

3 / 3.—AGUAS PROFUNDAS

3 / 3 - 1.—Profundización de las aguas meteóricas.

Las aguas precipitadas en la superficie se filtran, en parte, por los horizontes permeables y van profundizando según la vertical, o bien siguiendo el buzamiento de los horizontes porosos o atravesando los impermeables por las grietas y soluciones de continuidad.

Anteriormente, hemos razonado la existencia de lechos permeables en los sinclinales, que corresponden a los mismos horizontes de los anticlinales y de los afloramientos, y no puede alegarse razón alguna que imposibilite el descenso de las aguas hacia las zonas más bajas, a lo largo de las estratos porosos y fisurados.

Por otra parte, las formaciones consideradas compactas tienen muchas soluciones de continuidad y por ellas descienden también las aguas a otros escalones permeables.

Parece muy difícil admitir, pues, en los largos períodos geológicos, que no se hayan acumulado las aguas en las zonas más bajas de los horizontes permeables, y sólo circunstancias muy especiales y excepcionales puedan haber evitado la acumulación.

Cuando se trata de alumbrar aguas artesianas o de profundidad, lo aleatorio es, en general, que no se encuentren a la profundidad prevista; pero muy pocas veces no se alumbran por no existir en la vertical, sino porque el lecho impermeable de sostenimiento está más profundo del calculado.

En España existen muchos parajes en donde se encuentran amplios paquetes, desde el Triás al Mioceno, con varios kilómetros de profundidad, compuestos de alteraciones de rocas porosas e impermeables, que afloran en muchos puntos formando estructuras en anticlinal y sinclinal. En el fondo de estos últimos, sólo excepcionalmente puede admitirse no existan las aguas, impregnando los lechos permeables.

3 / 3 - 2.—Estudio de la fosa de Alcalá de Henares.

A título de ejemplo, y no como excepción, citamos el caso de la fosa de Alcalá de Henares. En esta zona, afloran por Levante, en Cuenca y Guadalajara, diversos tramos secundarios: Triás, Liásico y Cretáceo, que se encuentran ondulados y a los que recubre el Oligoceno, también movido con el Cretáceo.

Más a Poniente se levanta la Sierra de Altomira, que se ondula en anticlinal cretáceo, al que pronto recubre por el Oeste el Mioceno; a Poniente del meridiano de Madrid, en contacto con las estribaciones del Guadarrama. Por el Molar, entre otros parajes, se presentan nuevamente los afloramientos secundarios, con buzamiento Oriental opuesto al anterior.

Ello indica una fosa secundaria entre Altomira y el Guadarrama, la cual, prevista por varios geólogos, originó un proyecto de sondeo en Alcalá de Henares, para alumbramiento de aguas, cuyo objeto era atravesar el Terciario y llegar a las calizas cretáceas, fisuradas y con horizontes permeables (arcosas), que por la estructura general se suponía deberían contener aguas artesianas.

Este sondeo llegó a una profundidad de 1.000 metros, aproximadamente, y se cortaron dos niveles acuíferos dentro del Terciario, pero sin alcanzar el Cretáceo.

Todo el sondeo se encuentra en arcillas más o menos sabulosas del Terciario, las cuales se clasificaron en un principio como Oligocenas y Eocenas. Sin embargo, los fósiles encontrados son poco característicos

y no parece posible con ellos puntualizar su cronología. Además, las formaciones «eogenas», que afloran en contacto con el cretáceo, están constituidas por gonfolitas, margas y molasas, que no parecen en el sondeo.

Por otra parte, es difícil relacionar la formación del sondeo con los sedimentos terciarios que se extienden hacia Levante, de Alcalá, y que se apoyan sobre las gonfolitas; relación que sólo puede explicarse por hinchamiento en la vertical de los sedimentos plásticos como las arcillas, análogamente a lo observado en determinado sondeo por petróleo realizado en España, en donde se habían calculado 300 a 400 m. de arcillas y el sondeo ha llegado cerca de 2.500 metros, sin salir de ellas.

De todos modos, el sondeo de Alcalá está en arcillas y no se puede apreciar el espesor que aún queda de estos depósitos; pero, en todo caso, antes de llegar al cretáceo es preciso atravesar las gonfolitas, margas y molasas (Oligoceno) y, por ello, no parece probable que se alcance el Cretáceo antes de los 1.500 a 2.000 metros.

Si contamos el importante espesor del Cretáceo, formado por el Cenomanense y el Albense, y que este último es el que contiene las arcosas (horizontes más permeables), puede suponerse una profundidad de estos horizontes del orden de 2.500 metros.

Más abajo deberían encontrarse los sedimentos liásicos que aparecen en Cuenca y en Guadalajara, concordantes con el Cretáceo, y que contienen areniscas, arenas y calizas muy fracturadas Toarocenses, también muy permeables, y debajo se observan en dichas provincias las formaciones triásicas, formadas por el Keuper, de gran potencia; calizas muy fisuradas del tramo medio, con margas azules pizarrosas debajo, y, por último, las areniscas de la base. Todo el conjunto se encuentra yaciendo, al parecer, sobre una fosa paleozoica.

Al tomar en cuenta los espesores de estas distintas formaciones, puede calcularse que el fondo de la cuenca paleozoica, que contiene todos los sedimentos secundarios y terciarios, se encuentra a una profundidad del orden de 5 kilómetros.

En esta columna extratigráfica se encuentran, pues, los siguientes horizontes permeables:

1.º Gonfolitas y molasas oligocenas a unos 2.000 metros.

2.º Arcoras albenses a unos 2.500 metros.

(Estos dos horizontes se encuentran separados por bancos cenomanenses, compactos y teóricamente impermeables.)

3.º Areniscas, arenas y calizas fracturadas toarocenses.

(Debajo de éstas: calizas compactas carmetienses y margas y arcillas del Keuper, impermeables.)

4.º Calizas fracturadas del Triás medio (permeables) de 3.500 a 4.000 metros.

5.º Areniscas de la base del Triás, que aunque contiene algunas fajas arcillosas son, en general, muy permeables, de 4.000 a 4.500 metros.

Debemos advertir que las profundidades señaladas no pueden ser exactas, como es lógico, y que sólo se indican a título informativo y de orientación; pero, en todo caso, debemos recordar el trabajo de don José de Gorostizaga: «Cómo se *hinch*an los terrenos ante la sonda»; en el cual se comprueba que en la mayor parte de las investigaciones es preciso profundizar mucho más de lo proyectado por los estudios geológicos, en los cuales las previsiones de profundidad se quedan siempre cortas; por ello, no creemos que las citadas profundidades sean exageradas, sino, probablemente, todo lo contrario.

Deducimos, pues, de todo ello, que en la fosa de Alcalá existen una serie de horizontes permeables a las que hemos llamado «zonas de dominio energético», conforme hemos estudiado anteriormente.

Estas capas permeables se encuentran encerradas entre horizontes impermeables, y afloran a cotas muy superiores a la de Alcalá, y, por tanto, forman una estructura clásica artesiana, con cuencas de filtración elevadas y profundización importante.

Por tanto, podemos concluir que en esta zona se han de encontrar aguas profundas, probablemente surgentes, las cuales forman mantos de importancia, a juzgar por el gran volumen de las masas porosas.

En nuestro suelo existen muchas estructuras semejantes y aún más favorables, que no describimos por no alargar este trabajo. Se ha citado el caso de Alcalá como ejemplo, y por ser más conocido.

El estudio geológico de las estructuras nacionales nos indicaría las zonas más aptas para el aprovecha-

miento, no sólo desde el punto de vista de la existencia de mantos acuíferos profundos, sino también relacionando esta característica con la existencia de un grado geotérmico reducido, para no precisar sondeos tan profundos, como hemos indicado en el cap. I.

3/3-3.—Indicaciones experimentales.

En la mayor parte de las excavaciones y sondeos realizados se han encontrado lechos permeables, cargados de agua, a profundidades de importancia.

Más concretamente, en las investigaciones petrolíferas es regla general que, mientras que los anticlinales encierran los hidrocarburos (líquidos o gaseosos), en los sinclinales se encuentran las aguas, debido a su mayor densidad.

Pero la existencia del petróleo, en una estructura apta para contenerla, está influida por diversas circunstancias, como la preexistencia de mares y faunas, adecuados para su formación; la existencia de rocas madres capaces de la destilación necesaria, sin putrefacción; la emigración parcial del petróleo formado, etc., etc.

Todo ello hace que, aun contando con estructura adecuada, la existencia del petróleo es muy aleatoria. En cambio, si existe estructura conveniente, con horizontes permeables en comunicación con la superficie (por afloramientos), la excepción es que no exista el agua, pues este elemento no ha sido formado como el petróleo, en determinada época y en condiciones muy especiales, sino que se produce constante y normalmente. Por ello, en una estructura posiblemente petrolífera, falta muchas veces el petróleo; pero el agua, en los grandes sinclinales, falta muy rara vez.

3/4.—CONDICIONES DEL AGUA EN PROFUNDIDAD.

3/4-1.—Características físicas.

Como hemos visto anteriormente, al profundizarse en la corteza terrestre, la temperatura crece de acuerdo con el grado geométrico de la zona, y, como la velocidad de circulación a través de las rocas porosas es muy reducida y dichas rocas presentan una enorme superficie de contacto, en relación al volumen de los huecos, las aguas contenidas en mantos permeables profundos han de encontrarse a la temperatura correspondiente a su profundidad.

En cuanto a la presión que soportan, ya vimos que, a las profundidades asequibles, las rocas resisten sobradamente la carga gravitatoria y, por tanto, el agua que circula por los poros no está sometida a la presión del peso de las rocas.

Pero, al descender el agua a través de los terrenos permeables, forma una columna líquida hasta la superficie (o cerca de ella) y, por tanto, el agua está sometida a la presión hidrostática correspondiente a su profundidad.

Por tanto, si M es el grado geométrico a una profundidad H (en Km.), las condiciones del agua son las siguientes (t_0 = temperatura media superficial).

$$\text{Temperatura } t = t_0 + \frac{H}{30}$$

$$\text{Presión } P = H + 10^{-1} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

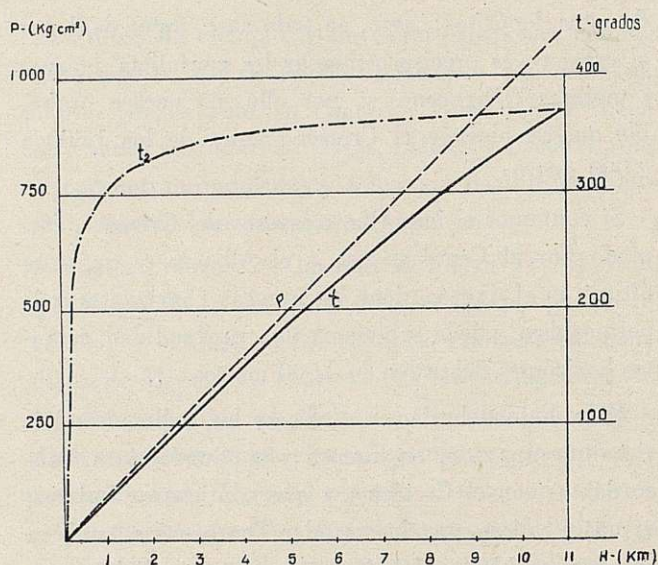


Fig. 1.—Temperaturas (t) y presiones (P) en función de la profundidad; temperatura de ebullición (t_2) correspondiente a la presión (P).

En la figura 1 se ha trazado la curva de temperaturas y presiones a distintas profundidades, para un grado geotérmico medio $M = 30$ y a una temperatura media superficial $t_0 = 10^\circ$.

En esta misma figura se ha trazado la curva de las presiones correspondientes al punto de ebullición a las diferentes temperaturas alcanzadas, y por ella vemos que a las profundidades posiblemente asequibles, la presión hidrostática a que está sometida el agua es mucho mayor que la que corresponde al punto de ebullición y, por tanto, que el agua se encuentra en

profundidad, *siempre en estado líquido*, aunque con temperatura cada vez más elevada.

Por tanto, desde el punto de vista físico podemos concluir que las aguas se encuentran a temperaturas relativamente elevadas, en función de la profundidad y grado geotérmico, y siempre en estado líquido, a las profundidades asequibles.

3/4-2.—Zona de vapor.

Es interesante hacer observar lo que ocurre a una profundidad aproximada de 10,5 Km. En este punto el agua alcanza su punto crítico y, aunque la presión es elevada (1.050 Kg. por cm^2), no puede encontrarse en forma líquida, sino convertida en vapor, por alcanzar el punto crítico.

Bien entendido que tratamos sólo de las aguas superficiales, sin referirnos a las que, a grandes profundidades, forman parte de los magmas, debido a enormes presiones, en que ya no puede generalizarse la idea del punto crítico, ni siquiera la idea de estado físico. Estas aguas originan las llamadas juveniles, que no tenemos en cuenta en nuestro estudio, en el que nos ocupamos solamente de las aportadas del exterior.

Por tanto, a partir de 10,5 Km. las aguas se encuentran allí en estado de vapor sobrecomprimido, y esta zona representa una fuente de energía considerable, como se comprende, con un vapor a 365° y 1.000 atmósferas de presión, que puede suministrar una cantidad de energía, 200 veces mayor, por Kg. de agua, que el aprovechamiento a 6.000 metros.

El llegar a esta profundidad, no nos parece posible en la actualidad; pero indicamos sus posibilidades energéticas, como una meta que creemos podrá alcanzarse un día no muy lejano; la técnica de sondeos ha avanzado a medida que lo ha necesitado la investigación y, por tanto, si esta nueva modalidad de captación de energía lo exige, cada vez serán mayores las profundidades alcanzadas, y parece posible alcanzar esta zona de vapor, en época no muy lejana.

3/4-3.—Características químicas.

Las aguas profundas, situadas en las zonas depri-

el subsuelo, en muchos casos, desde remotos tiempos, contados en escala geológica.

Por otra parte, las temperaturas llegan a ser muy elevadas, como hemos visto, y en profundidad se encuentran en condiciones semejantes a una enorme marmita sobrecomprimida (una clásica «choya spress»), con presiones y temperaturas elevadísimas.

En estas condiciones, el poder de disolución es muy grande, e, indudablemente, han de estar las aguas muy cargadas de sales y compuestos químicos.

4/3-4.—Relaciones con el exterior.

En las cuencas de filtración se verifican las precipitaciones meteóricas que constantemente descienden hacia las zonas bajas, para suplir las pérdidas que el manto puede sufrir a través de soluciones de continuidad de los horizontes impermeables, manteniendo colmada la formación permeable.

Pero, aun teniendo en cuenta el consumo de estas aguas para el aprovechamiento, además de las pérdidas naturales, el tiempo que tardan en llegar las aguas al fondo es considerable, debido al gran recorrido y a la pequeña velocidad de filtración.

Ello quiere decir que el régimen meteorológico anual no puede afectar las disponibilidades de los almacenamientos profundos, y los caudales corresponderán a la media de muchos años. Las oscilaciones meteorológicas no afectan prácticamente al régimen de las aguas profundas.

CAP. III.—APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

3-1.—TERMODINÁMICA DEL APROVECHAMIENTO.

La fuente de calor de que disponemos es el agua captada a determinada profundidad y con temperatura t y presión P , superior a la correspondiente a la ebullición.

Si la hacemos llegar a una caldera de presión P_1 a la cual corresponde una temperatura de ebullición t_1 menor que t , parte del agua se convertirá en vapor por alcanzar su punto de ebullición. Si suponemos l kg. de agua y llamamos X a la proporción de vapor formado, tendremos al final de la transformación una mezcla de $l-x$ kg. de agua y x kg. de vapor a la presión P_1 y temperatura t_1 de ebullición.

Siendo r_1 el calor de vaporización, el vapor formado absorbe una cantidad de calor $r_1 \cdot x$, y como la masa se encontraba a una temperatura t , y en la caldera está a t_1 , el calor perdido por el líquido es $t - t_1$. Estos calores son necesariamente iguales, pues no existe otra aportación de calor y, por tanto:

$$t - t_1 = r_1 \cdot x$$

de donde obtendremos el valor de la proporción de agua convertido en vapor, que es:

$$x = \frac{t - t_1}{r}$$

Ahora bien, en el ciclo de Rankine se deduce que el calor convertido en trabajo es por kg. de vapor:

$$C = q_1 - q_2 - T_2 \int_{T_2}^{T_1} c \frac{dT}{T} + \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

siendo q_1 y q_2 los calores del líquido a la temperatura t_1 y a la t_2 del condensador; T_1 y T_2 las temperaturas absolutas correspondientes, y c el calor específico del líquido.

Si admitimos que c sea igual a l , con lo que cometemos un error insignificante, podemos poner:

$$\begin{aligned} Q_1 &= T_1 - T_2 - T_2 \int_{T_2}^{T_1} c \frac{dT}{T} + \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \\ &= (T_1 - T_2) \left(1 + \frac{1}{T_1} \right) - T_2 \ln \frac{T_1}{T_2} \end{aligned}$$

Pero este calor corresponde a 1 kg. de vapor y, como por litro de agua se tiene $x = \frac{T - T_2}{r_1}$, el calor aprovechado por litro de agua es:

$$Q_1 = \frac{T - T_1}{r_1} \left\{ (T_1 - T_2) \left(1 + \frac{1}{T_1} \right) - T_2 \ln \frac{T_1}{T_2} \right\}$$

Este valor aumenta, como es lógico, cuando disminuye la temperatura T_2 del condensador. Asimismo aumenta con T , o, lo que es igual, con la profundidad.

En cuanto a la influencia de T_2 (o, lo que es equivalente, de la presión P_1 de la caldera), el factor encerrado en el paréntesis aumenta con T_1 ; pero el valor de x disminuye y, por tanto, la curva pasa por un máximo, que depende de T .

En la figura 2 se han trazado las curvas del calor teóricamente aprovechado en el ciclo, para diferentes profundidades, con grado geotérmico $M = 30$ m. (lo que determina T), en función de las presiones P_1 de

la caldera (correspondientes a valores determinados de T_1), y suponiendo una presión de condensación de 0,12.

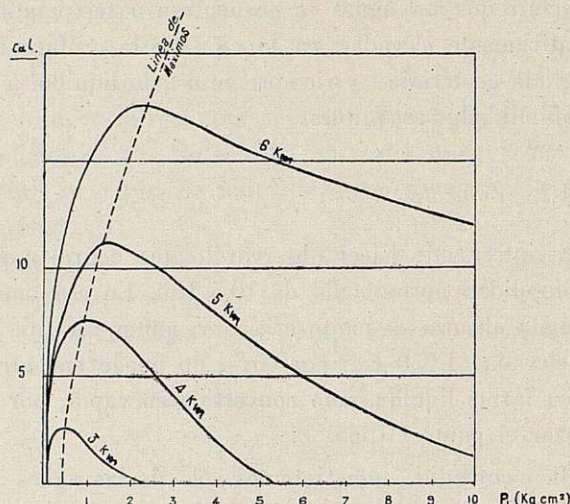


Fig. 2.—Energía aprovechada en función de presión P_1 de la caldera, distintas profundidades y por cada Kg. de agua (presión de condensación $P_2 = 0,12$).

Por ellas vemos que todas las curvas pasan por un máximo, y que se encuentra la línea de máximos inclinada de tal forma, que al aumentar la profundidad aumenta la presión óptima de trabajo.

Ahora bien, en estas curvas sólo se ha tenido en cuenta un salto de calor, y es posible realizar varios escalones. Por ejemplo: en el máximo de la curva correspondiente a 6 km. de profundidad, sólo se convierte en calor 0,155 kg. de agua, y quedan 0,845 kg. en estado líquido a la temperatura de 130° y presión de $2,76 \text{ kg./cm}^2$. Esta agua puede aprovecharse en otra caldera de menos presión, o sea, en otro escalón, y así, sucesivamente, hasta llegar a temperaturas inaprovechables. Con ello, la energía aprovechada aumenta notablemente, y, al final, queda aún una proporción importante de agua a temperatura relativamente alta, que puede aprovecharse para otros usos.

3-2.—POTENCIA APROVECHADA.

El estudio detallado de un proyecto de instalación, si se tienen en cuenta las posibilidades constructivas de los diversos elementos, nos llevaría a determinar el número de escalones y las presiones óptimas de cada uno, para el máximo aprovechamiento.

Pero, para completar el estudio que realizamos, sólo

hemos calculado las potencias que podrían conseguirse a distintas profundidades, con grado geotérmico normal de 30 metros, a base de dos escalones: el primero, a la presión óptima correspondiente a la profundidad, y, el segundo, a la que correspondería, teniendo en cuenta la temperatura de salida de agua de la primera caldera. Se supone una presión de condensación de 0,12, y las potencias están expresadas en km. por litro de agua por segundo, admitiendo un rendimiento mecánico de 0,8. Los resultados se han indicado en la figura 3.

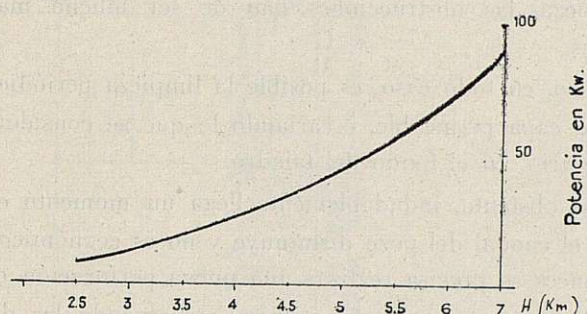


Fig. 3.—Potencia obtenida por litro de agua por segundo, en función de la profundidad, con dos escalones (presión de condensación = 0,12; rendimiento mecánico 0,8).

Vemos por ella que las potencias obtenidas son relativamente importantes y que llegan a 70 km. para 6 km. de profundidad. Si comparamos este resultado con un salto de agua del mismo caudal (1 litro segundo) sería preciso, con análogo rendimiento, una altura de caída de 8.850 metros, si esto fuera posible. Si la comparación la hacemos con un salto más normal, de 100 metros de altura por ejemplo, sería necesario un caudal de 88,5 litros por segundo, para obtener la misma potencia que con 1 litro en el sistema que estudiamos. Estas diferencias se explican por la gran superioridad cuantitativa de la energía calorífica, sobre la mecánica.

La potencia instalada puede ser notablemente mayor, pues hay que tener en cuenta que las calderas son, realmente, acumuladores de calor, las cuales pueden instalarse en número suficiente para regular la curva de consumo.

3.3.—PRODUCCIÓN.

La energía anual disponible depende de la profundidad y del grado geotérmico, pues la potencia por

litro-segundo es función de estas características; pero también depende, como es lógico, del caudal obtenido en el sondeo.

Los caudales de 10 y 20 litros por segundo son frecuentes en los pozos artesianos y, mucho más, en los grandes sinclinales, con cuencas de precipitación a cota elevada y con potentes horizontes permeables y profundos, como los que preconizamos para el aprovechamiento energético.

Pero, además, por medio de bombeo, puede aumentarse el caudal sin detrimento económico. En efecto; el caudal de un sondeo artesiano depende de la superficie del sondeo en la capa filtrante y de la permeabilidad de ésta, y también de la altura estática de surgencia que equivale a la diferencia de presión estática que origina la filtración. Si por medio de bombeo aumentamos esta diferencia de presión, el caudal aumenta, con la raíz cuadrada de dicha diferencia.

Para fijar las ideas, indicaremos que un sondeo con 20 metros de surgencia estática da importante caudal, y que pocos pozos artesianos llegan a esta surgencia. Si bombeamos este pozo, duplicando la carga, el caudal se multiplica por $\sqrt{2} = 1,41$. El bombeo representa, por cada litro por segundo inicial, un consumo de energía de $1,41 \times 20 = 28,2$ km. l' que, con un rendimiento del 50 %, equivale a una potencia de 550 watios, mientras que el incremento de 0,41 litros por l', puede dar una potencia térmica de 15 a 30 kw., como hemos visto, si procede de profundidades de 4 a 6 km.

El resultado del bombeo no es en la práctica tan matemático como se ha expuesto; pero, en todo caso, el bombeo aumenta notablemente el caudal, y el consumo de energía, en relación con la que puede aprovecharse térmicamente, es despreciable.

En la figura 4 se han dibujado las curvas de energía producida al año, partiendo de las potencias indicadas en la figura 3. Estas curvas corresponden a caudales de 10, 20 y 30 litros por segundo, y se refieren a un solo sondeo; pero las grandes estructuras que hemos citado y, en general, todos los campos artesianos, admiten la perforación de muchos sondeos dentro de su capacidad hidráulica, por lo cual en cada uno de estos campos puede obtenerse una producción total considerablemente mayor que la indicada para un solo sondeo, lo que quiere decir que la capacidad de pro-

ducción total en España, de esta nueva fuente de energía, puede ser considerable.

3.4.—ESTUDIO ECONÓMICO.

La perforación de un sondeo de las profundidades necesarias para el aprovechamiento es relativamente

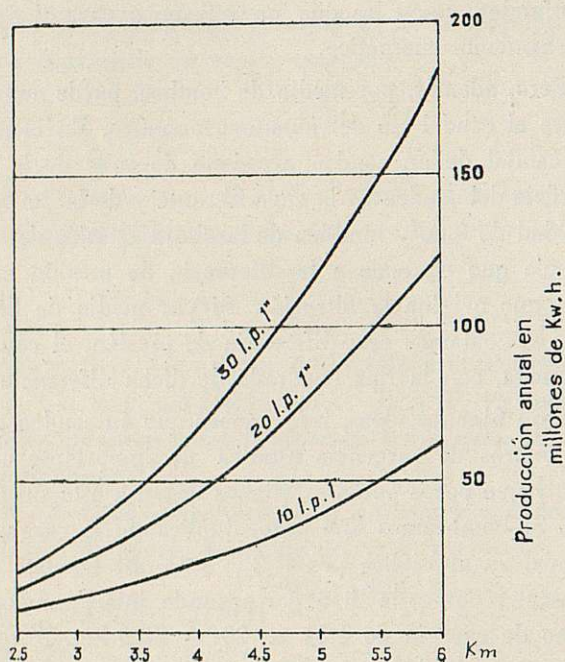


Fig. 4.—Producción anual en función de la profundidad para distintos caudales, para un sólo sondeo.

cara, y puede calcularse en 2.500.000 ptas. por km. de profundidad. Si admitimos se amortice el coste del sondeo con un canon anual del 5 % de dicho coste, se cargará la producción anual para una profundidad H en km. en:

$$125.000 H \text{ ptas.}$$

Teniendo en cuenta las cifras de producción indicadas en la figura 4, se puede calcular la influencia de la amortización del sondeo en el coste del kw. hora. En la figura 5 se han dibujado las curvas correspondientes en función de la profundidad y para caudales de 10, 20 y 30 litros segundo.

Se ve por ellos, que el coste del kw. h. por el concepto de amortización es muy pequeño, y que entre 4 y 6 km. oscila entre 2,25 y 0,4 céntimos de peseta, para caudales de 10 a 30 l. p. 1". Un valor medio con profundidad de 4,5 km. y caudal de 20 l. 1", arroja un coste de amortización de 1 céntimo por kw. hora.

Estas cifras son, como se ve, ampliamente favorables y puede, por ello, admitirse una amortización mucho más rápida.

3.5.—PERMANENCIA DEL APROVECHAMIENTO.

Los sondeos artesianos, al cabo de un determinado período de tiempo (en general, de muchos años), se obstruyen, por sedimentación de arcillas y otros elementos en las paredes del sondeo en las zonas en que corta las capas permeables. Con las aguas profundas, de elevada temperatura, por su poder disolvente y de limpieza, las obstrucciones han de ser mucho más lentas.

Pero, en todo caso, es posible la limpieza periódica de la capa permeable, escariando lo que se considere necesario, en el fondo del taladro.

No obstante, indudablemente llega un momento en que el caudal del pozo disminuye y no es económico; entonces se precisa realizar una nueva perforación en lugar muy próximo al anterior, conservando las demás instalaciones.

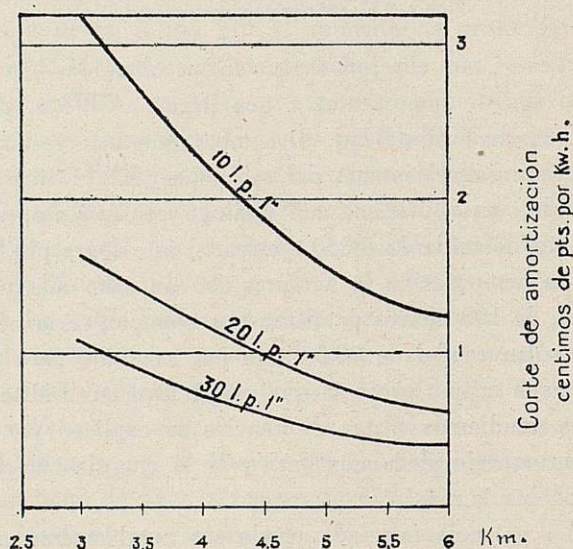


Fig. 5.—Influencia de la amortización del sondeo en el corte de Kw. hora en función de la profundidad y para distintos caudales.

Por ello se ha previsto en el estudio económico una cifra de amortización a plazo relativamente corto, y, como la carga de amortización sobre el kw. hora es muy pequeña, podría todavía reducirse notablemente dicho plazo, sin sensible quebranto económico.

3.6.—REALIZACIÓN PRÁCTICA DEL APROVECHAMIENTO.

El sistema quizás más sencillo es dejar elevarse las aguas (bien naturalmente o bombeadas) hasta las alturas de carga, correspondientes a las presiones de evaporación calculados para los escalones y recoger el capor formado a esta presión para llevarlo a acumuladores de vapor, de donde se utilizarían en las máquinas térmicas.

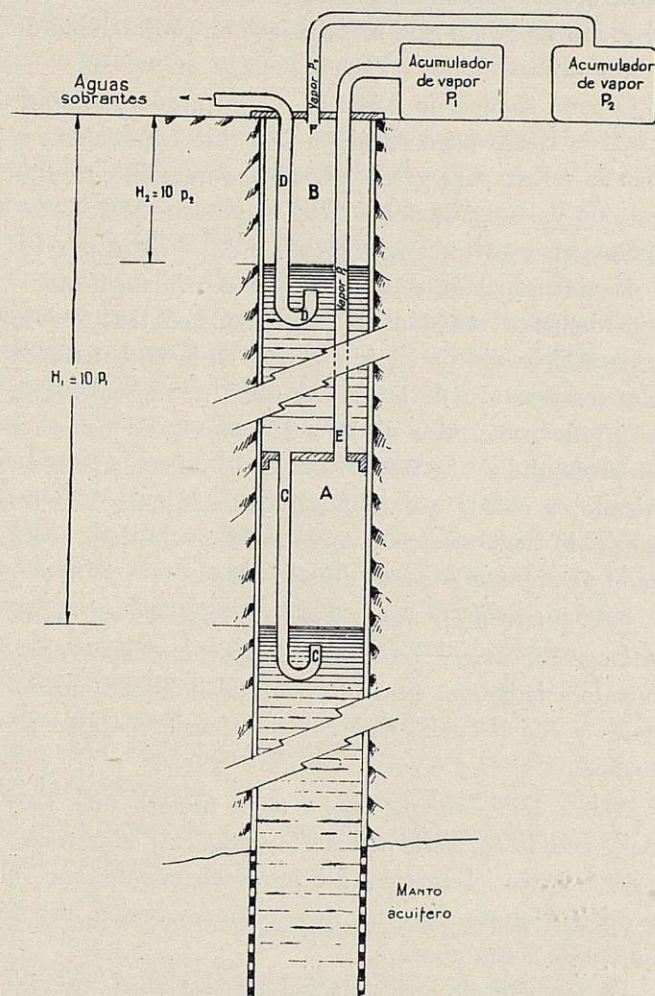


Fig. 6.—Esquema de realización práctica.

El sistema se indica en el esquema de la figura 6 para 2 escalones de presión. El sondeo o un tubo adecuado que se introduce en él está dividido en dos compartimientos, A y B, enlazados por el tubo en sifón, C, y con salida regulable, D, también en sifón. Ambos compartimientos tienen salidas de vapor, E y F, que comunican con los acumuladores de vapor.

Al subir el agua a la temperatura A del manto, y

alcanzar presiones inferiores a la de su punto de ebullición, se evaporan en parte, y el vapor producido se acumula en la parte alta del compartimiento A, en el cual reina la presión P_1 del primer escalón.

A causa de esta presión, las aguas no pueden pasar en el compartimiento A de la profundidad H_1 , equivalente a la presión P_1 y, por tanto, el sifón C debe encontrarse algo más bajo de dicha profundidad. El vapor acumulado en el primer compartimiento A, pasa por E a los acumuladores de alta presión P_1 .

El agua sobrante pasa por el sifón C al compartimiento B y, al ascender pierde presión, produciendo vapor que se acumula en lo alto del compartimiento que se encuentra a la presión P_2 del segundo escalón. No puede llegar el agua más que hasta la altura H_2 , equivalente a P_2 , dentro del compartimiento. El agua sobresale por D (y puede emplearse en un tercer escalón, si fuera preciso), mientras que el vapor pasa por F a los acumuladores de baja presión.

Durante el funcionamiento, si el consumo de vapor es igual al que puede producir el agua a la presión P_1 del compartimiento A, el agua circula por el sifón E, dando su correspondiente cantidad de vapor y manteniendo el nivel constante H_1 .

Si el gasto se reduce, el vapor se acumula, elevándose la presión en el compartimiento, con lo cual el nivel de agua desciende, y, como la presión es mayor, se produce menos vapor.

Si el gasto de vapor aumenta, el nivel de agua dentro del compartimiento se eleva, la presión disminuye y se produce mayor cantidad de vapor, regulando el gasto, aunque con menor presión. Ambos casos ocurren igualmente en el compartimiento B.

Como es lógico, el sistema de tomas de vapor puede tener diferentes disposiciones de detalle que no nos es posible analizar en este trabajo, donde es nuestro único objeto orientar la cuestión dentro de las posibilidades prácticas. Indicaremos únicamente que las tomas de vapor se harán preferentemente en pozos para mayor espacio de instalaciones, pues las cargas máximas no pasan de 30 metros.

En el caso de bombear el agua por no llegar a la superficie o porque sea conveniente para aumentar el caudal, el funcionamiento no varía. Únicamente será conveniente establecer el bombeo suficientemente profundo, para que esté siempre en carga elevada y no se produzcan desprendimientos de vapor. Las bombas

pueden ser análogas a las de bombeo de petróleo, aunque con mucha menor potencia absorbente, pues sólo se busca pequeño incremento de la carga.

Para el mejor aprovechamiento, el taladro debe estar entubado, para mantener su integridad y tener tubería central de conducción de agua y vapor con aislamiento térmico, para evitar las pérdidas, aunque teniendo en cuenta la escasa conductibilidad de las rocas que forman las paredes del sondeo. Una vez establecido el equilibrio, las pérdidas son extremadamente reducidas.

3-7.—INFLUENCIA DE LA CALIDAD DE LAS AGUAS.

Como hemos visto en el cap. II, las aguas han de estar con toda probabilidad cargadas de sales y compuestos químicos, y cabe preguntar si son aptas para la producción de vapor.

En una caldera normal, la evaporación se realiza casi exclusivamente en el contacto con la superficie de caldeo, y las sales residuales quedan en contacto con dicha superficie, en la que se producen incrustaciones, por lo cual las aguas para vapor han de ser puras.

En el caso del aprovechamiento que se propone, la evaporación se produce artificialmente, que es donde es mayor la tensión del vapor, y no en contacto de pared alguna. Las sales residuales se redisuelven en el líquido o son arrastradas por éste en su circulación, con lo que no son probables las incrustaciones.

Pero, en todo caso, si se presentaran dificultades imprevisibles, en lo que a incrustaciones se refiere, puede realizarse el aprovechamiento por caldeo de aguas puras, en calderas tubulares, y, en realidad, los cálculos termodinámicos realizados se basan en el recaldeo del agua, según el ciclo de Rankine; pero repetimos que la forma de evaporación no puede dar origen a incrustaciones y, por ello, no parece pueda existir inconveniente en emplear el agua alumbrada.

3-8.—ZONAS DE GRADO GEOTÉRMICO REDUCIDO.

Como ya hemos indicado, existen zonas con grado geotérmico inferior al medio.

Todos los cálculos anteriores y las curvas que indican los resultados se mantienen para otro grado geotérmico diferente al normal de 30 m. que hemos ad-

mitido. Para ello basta multiplicar la profundidad por el factor $\frac{M}{30}$, en lo que a potencias se refiere, siendo M el grado geotérmico real.

Así, si suponemos un grado geotérmico $M = 18$ para la vigencia de las curvas, habrá que multiplicar las profundidades por $\frac{18}{30} = 0,6$, y tendremos que,

para obtener los mismos valores que a 6.000 m. con el grado de 30 m. sólo se necesita una profundidad de 4.000 m. metros.

Con un sondeo de 2.500 m. y con grado geotérmico $M = 18$, se puede llegar a una zona equivalente a más de 4 Km. para grado geométrico normal, con producción de 50 millones de kw. h. y coste de 1,2 céntimos por amortización, con caudal de 20 litros por l".

Hemos calculado estas cifras por considerarlas aproximadamente semejantes a las características de la zona minera de Sierra Almagrera, en la cual, dada la alta temperatura de las aguas (60°), puede calcularse un grado geotérmico de 15 a 20 metros. En cuanto a la profundidad de 2.500 metros, la hemos fijado teniendo en cuenta que en España existen máquinas capaces de llegar a esta profundidad y que han realizado ya algunos sondeos de este orden.

Ello quiere decir que, en el caso concreto de Sierra Almagrera, parece posible un importante aprovechamiento energético, dentro de las posibilidades nacionales y con los elementos con que puede contarse actualmente.

Ahora bien, aunque dicha zona minera está bastante estudiada, sería necesario completar el estudio, orientado en el sentido del aprovechamiento que se propone; punto de vista que, como es lógico, no se ha tenido hasta ahora.

El acometer la investigación de esta zona, previos los estudios complementarios, podría servir de primera experimentación del sistema.

Cap. IV.—CONCLUSIONES Y PROPUESTAS

4-1.—Consideraciones generales.

Lo expuesto anteriormente nos lleva a la conclusión de que es posible, en la actualidad, realizar el aprovechamiento energético del calor interno de la

Tierra, en condiciones económicas, con lo que se inicia la utilización de una nueva fuente de energía.

Este aprovechamiento se basa en las siguientes circunstancias: 1.^a Existencia a profundidades asequibles en la actualidad, por medio de sondeos, de zonas de temperatura elevada, que pueden dar lugar a saltos de calor utilizables. 2.^a Existencia en esta zona, de horizontes permeables, porosos o fisurados, en comunicación con zonas superficiales elevadas, que constituyen mantos artesianos de aguas a elevadas temperaturas y elevada presión. 3.^a Posibilidad de aprovechamiento termodinámico del vapor formado por las aguas calientes.

Todas estas circunstancias se han estudiado en los capítulos anteriores, y podemos concluir que se verifican en muchos parajes de nuestro subsuelo.

El aprovechamiento hidrológico de la escorrentía de nuestro suelo tiene que ser siempre comparativamente pobre, y, además, no está lejana la fecha del máximo aprovechamiento de energía dinámica de nuestros ríos. Además, la curva de incremento del consumo es mayor que la de la producción y parece difícil llegar al equilibrio, debido a que los aprovechamientos hidráulicos son de ejecución lenta.

Por ello parece interesante buscar nuevas fuentes de energía, como la que se propone, la cual puede intensificarse con rapidez, ya que con la técnica moderna de sondeos, las perforaciones, aún profundas, se realizan en poco tiempo.

Por otra parte, los mantos acuíferos profundos no están afectados, como hemos visto, por las oscilaciones meteorológicas, lo cual representa una continuidad de producción del más alto interés para la economía nacional.

4.2.—*Comparación con las investigaciones petrolíferas.*

Ya hemos indicado que el hallazgo de petróleo en las estructuras en donde geológicamente es posible encontrarlo es altamente aleatorio, por las diversas circunstancias que deben concurrir para la formación, emigración y almacenamiento del petróleo. En cambio, la existencia del agua en el fondo de los grandes sinclinales es mucho más probable y sólo está sujeta a la estructura, puesto que las aguas, si dicha estructura es adecuada, se filtran hasta los niveles muy bajos.

A pesar de ello, allí donde las estructuras indican

posibilidades petrolíferas se hacen, profundamente, sondeos de investigación, y parece natural que con análogo interés se investiguen las estructuras adecuadas para la captación de energía, teniendo en cuenta las grandes probabilidades de encontrar agua, incomparablemente mayores que la de encontrar petróleo.

Es más, si en los sinclinales donde se puede encontrar el agua y con la misma probabilidad que existe de encontrarla, existieran las mismas características para el petróleo, ya se habrían investigado profusamente, y la producción petrolífera mundial sería enorme, pues el agua profunda es cien veces más abundante que el petróleo.

Por tanto, si se toma en cuenta que, el encontrar estas aguas es incomparablemente menos aleatorio que encontrar petróleo, la importancia económica de la energía, y que, según hemos visto, el aprovechamiento energético de las aguas profundas es teórica y prácticamente posible, se debería dar a la cuestión, al menos, la misma importancia que a la investigación de hidrocarburos.

4.3.—*Experimentación.*

Para acometer el aprovechamiento de esta nueva fuente de energía es lógico que se complete el estudio de la cuestión y se realicen investigaciones experimentales.

Si se tiene en cuenta el primer punto de vista, convendría se desarrollase el estudio, con las cooperaciones que se estimen oportunas, y realizar al mismo tiempo los estudios geológicos necesarios, para determinar las posibles zonas energéticas españolas y sus características: sobre grado geotérmico, importancia hidrológica subterránea, etc.

Con el desarrollo del estudio y los citados reconocimientos geológicos, podría evaluarse la energía de posible aprovechamiento en cada zona y, por tanto, la total, con lo cual se conocería la importancia, dentro del país, de esta nueva fuente de energía.

Los anteriores estudios se completarían con un proyecto de investigación experimental en región de grado geotérmico reducido, para llegar con profundidades relativamente reducidas a zonas de posible aprovechamiento energético.

Con este último fin nos permitimos señalar la posibilidad de realizar este primer aprovechamiento expe-

rimental en la zona de la Sierra Almagrera; en esta zona minera existe un problema de desagüe de importancia con aguas a temperatura superior a 60°, lo cual indica un grado geotérmico muy reducido, quizás de cerca de la mitad del grado medio, debido, probablemente, a la existencia de masas magmáticas relativamente poco profundas, originarias de las inyecciones filonianas y del vulcanismo regional.

Al existir aquí una zona de gran cantidad de agua con grado geotérmico muy reducido, puede llegarse a zonas francamente energéticas, con sondeos poco profundos y fáciles de realizar, que servirían de experimentación. En España existen sondas que pueden llegar fácilmente a la zona energética de este paraje.

Teniendo todo esto en cuenta, nos permitimos hacer la siguiente propuesta.

4-4.—*Propuestas.*

1.^a Que se tome en consideración el aprovechamiento de energía que proponemos.

2.^a Que se estudien y analicen con toda extensión sus posibilidades por ingenieros designados al efecto, los cuales podrían formular un plan de puesta en práctica.

3.^a Que se incluyan en los correspondientes estudios sobre las zonas más aptas para realizar el apro-

vechamiento energético, así como también la realización de proyecto de un primer sondeo de investigación en Sierra Almagrera o en otro paraje de grado geotérmico reducido.

4-5.—*Conclusión.*

Teniendo en cuenta las grandes posibilidades del aprovechamiento que se propone, nos hemos decidido a exponerlo al Congreso de Ingeniería, ampliamente capacitado para decidir sobre una cuestión que consideramos de gran importancia.

En la actualidad, sólo en algunas zonas geisseriesas del Japón, Italia y otras semejantes, se han realizado aprovechamientos del calor del subsuelo a pequeñas profundidades, y sólo con el aprovechamiento de las aguas que llegan naturalmente a la superficie; pero el sistema de acometer decididamente zonas profundas de temperatura elevada, es inédito y abre amplio horizonte, que culminaría, en su día, en alcanzar la zona de vapor de 10,5 Km. de profundidad a que antes hemos hecho referencia.

Este primer paso de iniciar una nueva fuente de energía, tan interesante para la Humanidad, correspondería a un Congreso de Ingenieros Españoles.

Madrid, abril de 1950.

Interviene el Sr. López de Azcona, quien después de razonar el origen de la energía calorífica a que se refiere el precedente trabajo, propone que las conclusiones queden redactadas en la siguiente forma:

1.^a—*Que se efectúen los correspondientes estudios para identificar las zonas más interesantes para realizar el aprovechamiento del calor de las aguas.*

2.^a—*Identificado el lugar más interesante, debe efectuarse un sondeo industrial de investigación.*

3.^a—*Investigar las zonas radiactivas, por ser las que tienen los materiales que dan lugar al calor terrestre.*

4.^a—*Estudiar la utilización de los materiales radiactivos como combustibles en fase de escisión.*

Después de estas observaciones del Sr. López de Azcona, el Presidente de la Sección dispone que por no encontrarse presentes los autores de los trabajos números 164, 165 y 159, que íntegros se reproducen en las páginas siguientes, se proceda por el Secretario a la lectura de sus resúmenes.

Realizada esta lectura por el Secretario se interrumpe la Sesión a las 14 horas, para reanudarla a las cuatro de la tarde.

N.º 164. - Recuperación del benzol del gas de baterías de hornos de coque

Autor: D. ANGEL SANTAFÉ COBO

Ingeniero de Minas

Con el nombre de benzol se conocen en la industria una mezcla de hidrocarburos de la serie bencénica, cuyo principal constituyente es el benceno, asociado a sus homólogos y a otras impurezas.

Estos hidrocarburos no existen libres en el carbón y, según la teoría de Berthelot, su formación se debe a la polimerización del acetileno que da origen al benceno y, por nuevas uniones entre éste y aquél, se forman los hidrocarburos superiores.

El inglés Bone demostró que el acetileno no existe en el gas de hornos de coque en cantidad suficiente como para ser considerado el único origen de los hidrocarburos aromáticos.

Con el descubrimiento de la serie de los naftenos se demostró que estos cuerpos, formados en la carbonización a baja temperatura, se descomponen con el calor, dando lugar a derivados del benceno e hidrógeno libre.

Así, por ejemplo, el exahidrotolueno da tolueno e hidrógeno.

Del estudio del «cracking» de los aceites se deduce que el benceno y el tolueno también se pueden originar por descomposición de las parafinas y olefinas.

De lo expuesto se desprenden tres causas principales como origen de los aceites ligeros:

- 1) Polimerización del acetileno.
- 2) Descomposición de los naftenos.
- 3) Descomposición de las parafinas y olefinas.

El aceite ligero originado por la destilación a alta temperatura contiene de un 55 a un 70 % de benceno, del 12 al 20 % tolueno y del 4 al 7 % de xileno en su mayor parte m-xileno. El resto está formado por impurezas tales como bases pirídicas (piridina, metilpiridina, indina o dimetil piridina, colidinas, o trimetil piridina, etc.); productos sulfurados (tiofeno, tiotolueno, tioxeno, sulfuro de carbono, etc.); hidrocarburos no saturados; compuestos oxigenados; fenoles.

1) FACTORES QUE INFLUYEN DURANTE LA COQUIZACIÓN EN EL RENDIMIENTO EN ACEITES LIGEROS:

A) NATURALEZA DEL CARBÓN TRATADO.

Lowry, Landau y Naugle han estudiado matemáticamente los datos recogidos por «The Bureau of Mi-

nes - American Gas Association», y han deducido la siguiente fórmula que relaciona el rendimiento en aceites ligeros con el contenido en materias volátiles (M. V.) de una hulla:

$$A_1 = a + b (MV)$$

En la que b viene dada por la fórmula:

$$\log b = -0,5804 - \frac{1.100}{T + 273}$$

T es la temperatura de coquización.

a se obtiene del gráfico de la fig. núm. 1.

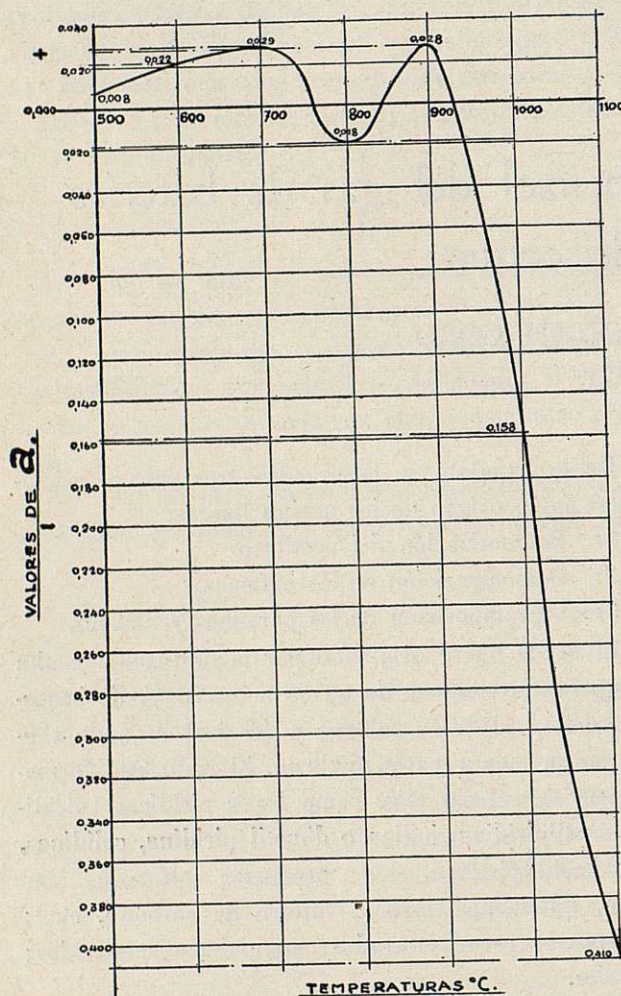


Fig. 1.—Curva para determinación del valor del coeficiente a en la ecuación de Lowry, Landau y Naugie.

Aplicando esta fórmula a los carbones coquizados por la Sociedad «Duro-Felguera» con un contenido en materias volátiles del 33,3 al 36,6 % (carbón seco exento de cenizas), y con una temperatura de 1.100° C llegamos a los siguientes resultados:

M. V. 33,3 Aceites ligeros 12,13 Kg/ton.
M. V. 36,6 » » 13,59 »

También es útil la fórmula empírica:

$$A_1 = 0,5254 (M. V. - 8,5) \text{ Kg/ton.}$$

Que aplicada a nuestros carbones da:

M. V. 33,30 Aceites ligeros 13,03 Kg/ton.
M. V. 36,60 » » 14,76 »

Comparando estos resultados con los obtenidos en el Laboratorio de la Casa Otto de Bochum (Alemania) con una muestra media del carbón coquizado en nuestras baterías durante 10 días (aproximadamente 9.000 ton.), dió el siguiente resultado:

M. V. 35,8 Aceites ligeros 14,6 Kg/ton.

(Carbón seco exento de cenizas)

Se comprueba que son fórmulas de aproximación suficiente para ser usadas en la realidad.

B) TEMPERATURA DE COQUIZACIÓN.

La temperatura de coquización tiene gran influencia en el rendimiento de todos los subproductos obtenidos de la destilación de la hulla, y, en particular, sobre los aceites ligeros.

El «U. S. Bureau of Mines» ha realizado una serie de experimentos con determinado tipo de carbón, (el carbón Pratt), en una retorta cilíndrica de 33 cms. de diámetro y 66 cms. de longitud, para estudiar la influencia de la temperatura de coquización sobre la constitución y rendimientos en gas, aceites ligeros, alquitrán, agua amoniacal y coque.

En lo referente a los aceites ligeros los resultados obtenidos se expresan en el cuadro siguiente:

Cuadro 1							
	500°	600°	700°	800°	900°	1.000°	1.100°
Olefinas...	,05	,08	,09	,07	,05	,04	,03
Naftaleno...	trazas	,0005	,00	,001	,0008	,0009	,002
Benceno...	,02	,03	,10	,26	,51	,63	,56
Tolueno...	,02	,04	,10	,19	,16	,14	,10
Parafinas...	,18	,17	,07	,06	,02	,02	,01
Solvente...	,11	,14	,15	,11	,09	,07	,05
	0,38	0,46	0,51	0,69	0,83	0,90	0,75

Vemos que hasta los 1.000° C hay un aumento en el rendimiento de aceites ligeros con la temperatura. A partir de esta temperatura se producen fenómenos de «cracking» que dan lugar a la descomposición de los hidrocarburos ya formados, enriqueciendo el gas en hidrógeno y disminuyendo la cantidad de aceites ligeros.

En el apartado *d* pasaremos revista a los procedimientos que se usan en la actualidad para evitar esta descomposición, sin bajar la temperatura de los pies derechos de los hornos.

En el alquitrán la variación en el contenido de parafinas, olefinas y naftenos con la temperatura es la siguiente:

Cuadro 2

	500	600	700	800	900	1.000	1.100
Olefinas	,32	,40	,28	,26	,250	,18	,17
Parafinas y naftenos	1,43	1,22	,45	,15	,105	,06	,03

Y reuniendo este cuadro y el anterior en uno solo:

Cuadro 3

	500	600	700	800	900	1.000	1.100
Olefinas... ..	,37	,48	,37	,33	,30	,22	,20
Parafinas y naftenos	1,61	1,39	,52	,21	125	,08	,04
	1,98	1,87	,89	,54	,425	,30	,24

Se observa al examinar el cuadro anterior cómo disminuyen la cantidad de parafinas, olefinas y naftenos con la temperatura. Estos cuerpos se transforman en benceno y sus homólogos superiores.

La temperatura de coquización no sólo determina el rendimiento en aceites ligeros, sino también en la proporción relativa de los diversos componentes del aceite ligero. (Véase el primer cuadro.)

Tweedy da los siguientes datos con relación a las baterías de sílice con regeneración de calor y para un mismo carbón al variar los tiempos de coquización. (Aproximadamente, el tiempo de coquización es inversamente proporcional a la temperatura de los pies derechos.)

Cuadro 4

Tiempo de coquización en horas:

	29,5	18,6	15,1
Benceno... ..	64,9	79	86,1
Tolueno... ..	25,3	18,3	12,2
Solvente... ..	8,8	2,2	1,5
Parafinas > 140° ...	1	0,5	0,2
	100		

C) TIPO DE HORNO Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN.

El tipo de horno en que se verifica la coquización influye en la composición de los aceites ligeros. Así, por ejemplo, el producido en retortas horizontales, verticales o inclinadas de las fábricas de gas, contiene

mayor cantidad de hidrocarburos no saturados y saturados no aromáticos, que el de baterías de hornos de coque del tipo Otto, Koppers, Beker, etc., de grandes cámaras con paredes de sílice.

La entrada de aire en las cámaras por las puertas, debido al mal estado o cierre de éstas, o por los pies derechos a través de grietas, da lugar a una disminución en aceites ligeros y, en general, de todos los subproductos, por combustión de los mismos.

Por estas fugas también salen los gases y se pierden con todos los subproductos que contienen. Entre ello se encuentran los aceites ligeros.

Estas fugas han llegado en algunas instalaciones a producir pérdidas en aceite ligeros hasta de un 20 %.

Para evitar esto no hay más remedio que tener especialísimo cuidado en la limpieza y conservación de los marcos y puertas y en la reparación inmediata de cualquier pequeña fuga que se advierta en los pies derechos.

D) DISPOSITIVOS QUE MEJORAN EL RENDIMIENTO EN ACEITES LIGEROS.

Como no es posible disminuir la temperatura de los pies derechos sin alargar los tiempos de coquización, se han intentado con buen éxito diversos dispositivos, de los que los más importantes son los siguientes:

Barrilete de compensación.—Cumple un doble objeto: mantener un régimen de presión constante dentro de la cámara de allanado, para evitar la sobrepresión inicial y la depresión al finalizar la cocción del horno, y el de «refrigerar», mediante los gases enfriados de los hornos recién cargados, dichas cámaras de allanado de los hornos, finalizando su coquización.

El tipo más sencillo es el «Barrilete de compensación Otto-Beiman», en todo igual al principal, excepto en el diámetro, que es menor.

Su modo de funcionar es el siguiente: Los gases producidos en un horno recién cargado (en la figura 2 el de las flechas con trazo grueso) se dividen en dos partes; una pasa, como en las baterías, sin este dispositivo, al barrilete principal, y la otra sube por el tubo montante del barrilete de compensación y entra en él, en donde son regados por una lluvia de agua amoniacal, y, enfriados, luego vuelven a la batería por aquellos hornos que estén en régimen de

depresión, por encontrarse al final su coquización, enfriándose la bóveda y sumándose su volumen al del gas producido en ellos.

El resultado es que cada horno aporta un volumen de gas prácticamente constante durante el período de coquización al barrilete principal, y que las bóvedas de los hornos y cámaras de deprendimiento de gases no se sobrecalientan.

La práctica confirma un aumento del rendimiento en benzol de un 10 %, y, además, aumenta la producción de gas y de sulfato amónico.

Desaparece el grafitado de las bóvedas de los hornos y tubos montantes, con lo que el tiempo dedicado a este desgritado queda suprimido, de modo que pueden sacarse más hornos en el mismo tiempo que antes, y se aumenta la producción.

La Sociedad M. M. «Duro-Felguera», en la batería de 15 hornos tipo Otto, de sílice, que está construyendo, va a montar un segundo barrilete de 1.000 mm. de diámetro del tipo Otto-Beiman. El barrilete principal es de 1.500 mm. de diámetro.

El coste de este segundo barrilete se descompone de la siguiente manera:

Obra de calderería...	126.995	ptas.
Piezas de hierro fundido ...	135.443	»
Grifería y llaves ...	14.015	»
Tubería de fundición ...	4.080	»
Idem de acero estirado ...	1.560	»

TOTAL SUMAN ... 282.093 ptas.

Esta batería de 15 hornos será capaz de coquizar 340 ton. día de carbón húmedo.

Con un rendimiento en bencenos comerciales de 8,5 kg/Tn. de carbón cargado en los hornos, un aumento del 10 % en este rendimiento supondría el incrementar la producción anual en 105 toneladas.

Vemos que, aunque sólo hemos considerado una de sus varias ventajas, la de aumentar el rendimiento en benzol, esta sola ya justificaría su colocación.

En las figuras 2, 3 y 4 se da un esquema de este barrilete Otto-Beiman, así como los resultados obtenidos en las temperaturas y presiones de las cámaras de allanado.

La casa constructora de hornos de coque «Wilputte Coke Oven Corporation» (New-York) coloca a sus baterías un barrilete de compensación perfeccionado. Los dos barriletes, principal y de compensación, son iguales, y mediante unas válvulas de mariposa de mando automático se invierten las funciones respectivas du-

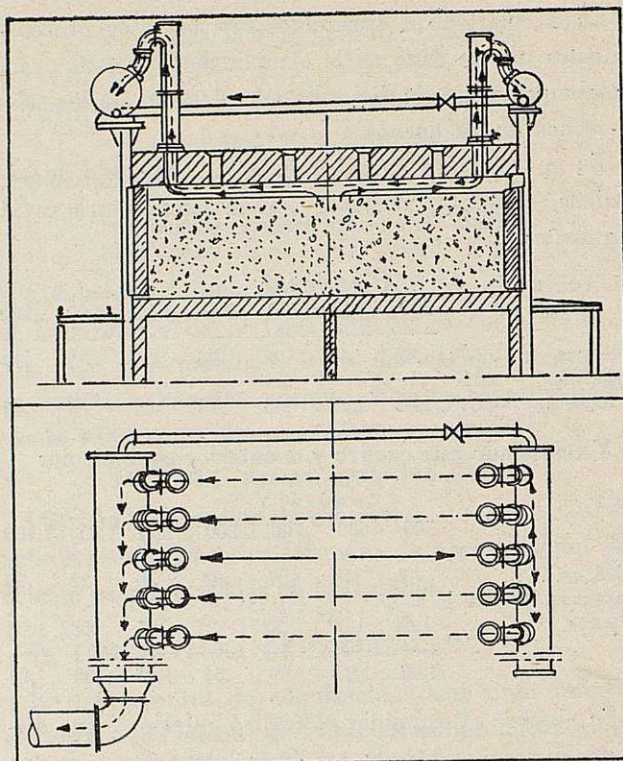


Fig. 2.—Barrilete de compensación «Otto Beiman».

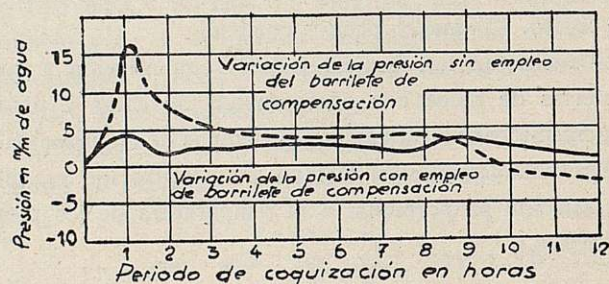


Fig. 3.—Presión dentro de la cámara.

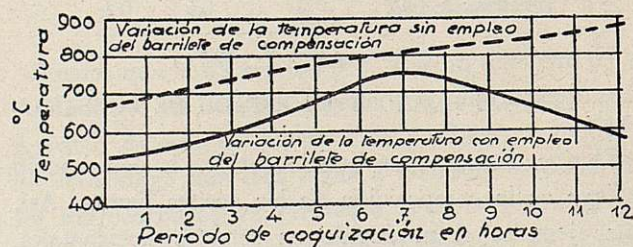


Fig. 4.—Temperatura dentro de la cámara.

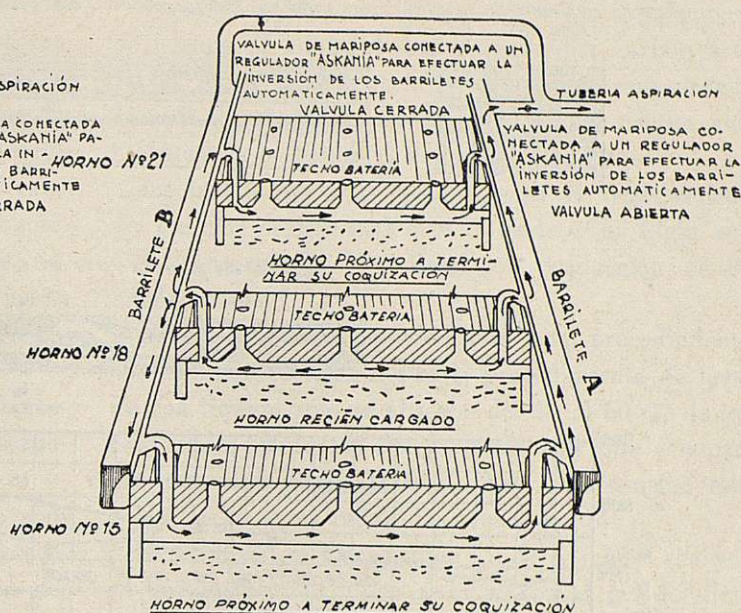
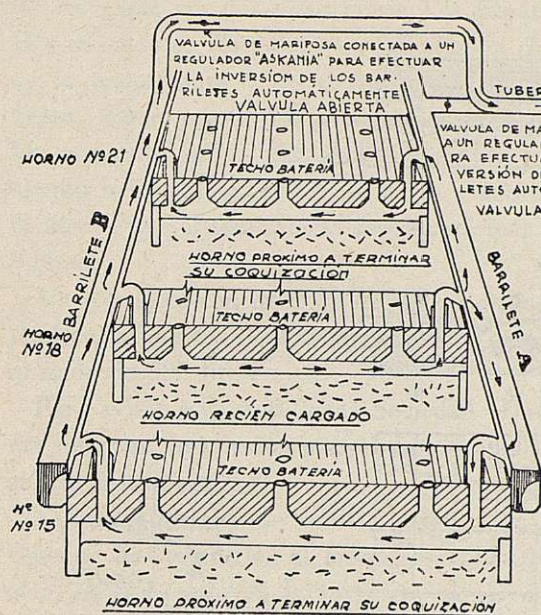


Fig. 5

rante intervalos de tiempo prefijados e iguales, convirtiendo el principal en el de compensación, y viceversa.

Con esto, la batería adquiere simetría perfecta con relación a su eje longitudinal.

Los gráficos núms. 5, 6 y 7, muestran la manera de funcionar este sistema, y queda patente en ellos la uniformidad de la presión y menor temperatura de la cámara de allanado, en comparación con los hornos desprovistos de este segundo barrilete compensador.

Canal de Goldschmidt.—Este dispositivo, debido a la casa constructora de hornos Lecocq, consiste en unos canales colocados en la parte superior de cada horno.

Los gases pasan de la cámara de allanado, y por unos agujeros situados en el eje de la bóveda, a un canal situado en la parte superior de cada horno, y así quedan preservados del contacto con las paredes y bóvedas calientes de los hornos, en su recorrido hasta el tubo montante.

Con esta disposición se disminuye en un 96,5 %

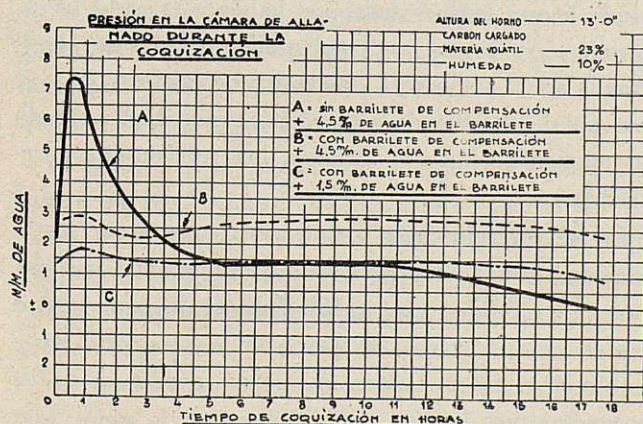


Fig. 6

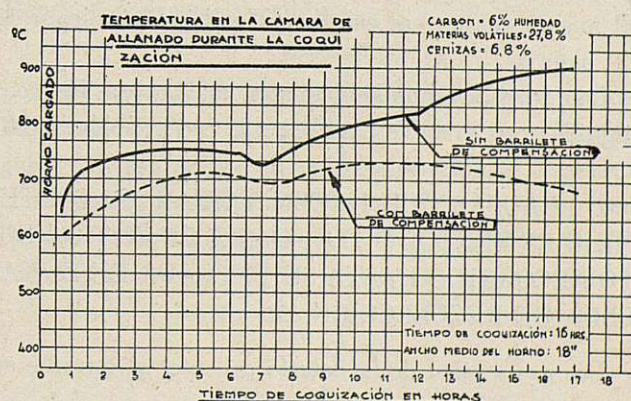


Fig. 7

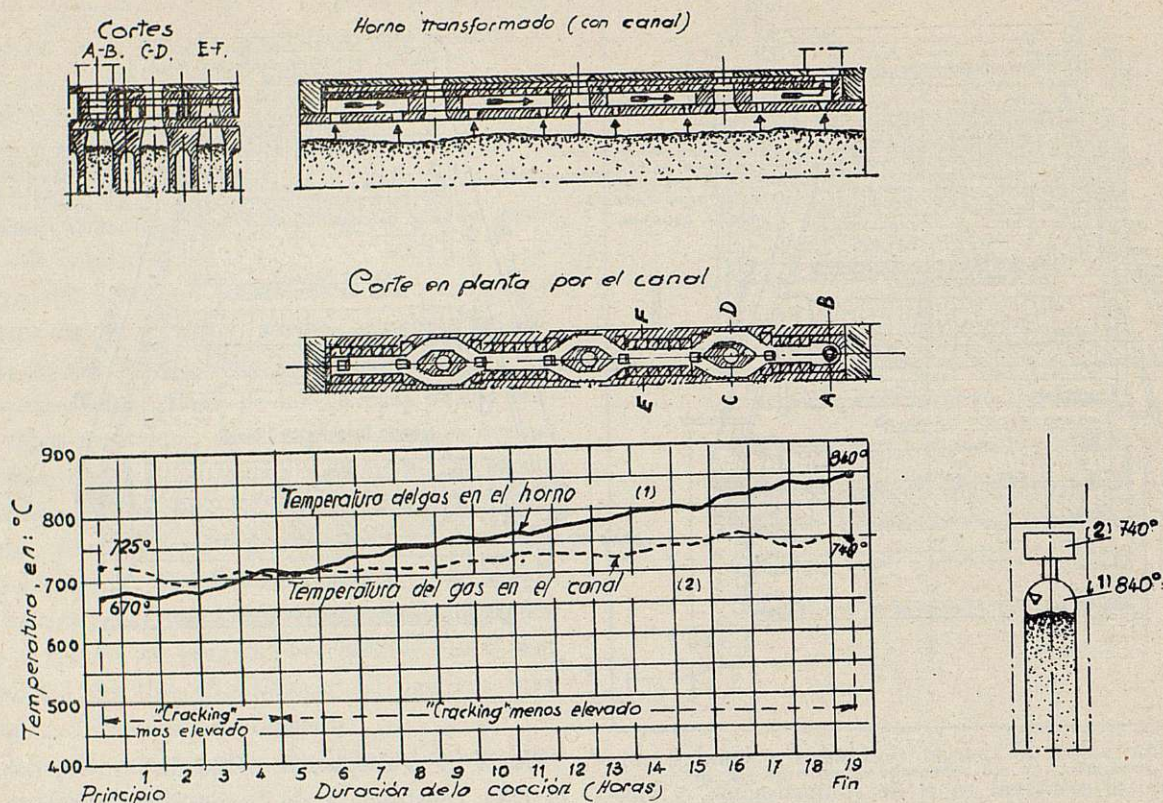


Fig. 8.—Hornos de coque con aspiración de gas por canal especial. Sistema «Goldschmidt».

la superficie de contacto del gas con las zonas calientes y se aumenta el rendimiento en benzol en un 5 a un 12 %.

La figura 8 muestra este dispositivo y el régimen de temperatura con y sin canal Goldschmidt.

Dispositivo Gibbons-Kogag.—La casa constructora de hornos Gibbons ha introducido un sistema para aumentar el rendimiento en benzol, consistente en introducir en los hornos cuyo periodo de coquización está finalizando, gas desprovisto de sus subproductos: El mismo gas que se emplea para el calentamiento de las baterías.

Los resultados obtenidos son análogos a los conseguidos con el doble barrilete o el canal Goldschmidt.

2) CAUSAS QUE HACEN VARIAR EL CONTENIDO EN BENZOL DE LOS GASES EN EL TRAYECTO RECORRIDO HASTA SU ENTRADA EN EL TALLER DE RECOLECCIÓN.

Los gases salen de la batería calientes y, durante su recorrido, son enfriados.

El primer enfriamiento tiene lugar a su entrada en

el barrilete, en donde una lluvia de agua amoniacal hace descender la temperatura de los gases a un limite variable con las instalaciones. En las baterías Otto de la Sociedad «Duro-Felguera» varía de 130 a 140°.

Este enfriamiento da lugar a la condensación de aquellas sustancias de punto de ebullición alto (en nuestro caso, superior a 130°/140°); cuya tensión parcial de sus vapores sea superior a la que le corresponde a esta temperatura por haber alcanzado la saturación. Se forma un condensado, mezcla de alquitrán y agua amoniacal, que sale, en contacto con el gas, por la tubería de aspiración, y aquél es purgado un momento antes de llegar a los refrigerantes preliminares.

En el procedimiento semidirecto, que es el de la Sociedad «Duro-Felguera», en los refrigerantes preliminares se enfría el gas a 45°. Ésta es la temperatura más baja que sufren los gases en su recorrido hasta recolección. Esto produce una nueva condensación de productos más ligeros y agua.

Todas estas condensaciones dan lugar a un lavado

de los gases por los alquitranes. Los productos solubles en ellos se disolverán en proporción dependiente de la temperatura y de su concentración en la fase vapor. Entre estas sustancias solubles se encuentran los componentes de los aceites ligeros; el procedimiento indirecto de enfriar los gases a una temperatura menor que el semidirecto favorecerá más esta solubilidad.

Un alquitrán con un 1 % de benzol da lugar a una pérdida en aceites ligeros por tonelada de carbón coquizado de 385 litros.

Para evitar esta pérdida, la Sociedad «Duro-Felguera» tiene una instalación para el deshidratado y desbenzolado del alquitrán.

Estos aceites son de calidad inferior, y, más conveniente que añadirlos al benzol recogido en recolección, es el hacerlo en la corriente en circulación del aceite lavado, con lo que sufren una rectificación en el desbenzolado y se purifican.

Después del sistema de condensación los gases son impulsados por la extractora a través del saturador. Aquí sufre un calentamiento el gas hasta una temperatura de 60/65° y se incorporan a él vapor de agua, bases pirídicas, sulfhídrico, carbónico y óxidos nitrosos, si el ácido usado los contiene. Estamos hablando de cuando se utilizan las aguas amoníacales para producir sulfato amónico.

En este trayecto también puede haber pérdidas de benzol por fugas del gas. En la realidad, esto no es corriente.

3) DESBENZOLADO DE LOS GASES DE HORNOS DE COQUE.

En la actualidad, la recuperación del benzol de los gases de baterías de hornos de coque se hace de manera casi exclusiva mediante el lavado de los gases con un líquido apropiado en torres de absorción.

El desbenzolado por el frío, aunque ha tenido aplicación en la «Société Metallurgique de Sambre-es-Moselle», presenta inconvenientes técnicos, dadas las bajas temperaturas a que hay que llegar, pues es necesario para un desbenzolado completo el bajar hasta los 60 grados bajo cero, y gastos de energía eléctrica que sólo lo hacen aplicable, económicamente, y con ventaja sobre el desbenzolado por aceite, en circunstancias muy especiales.

Tampoco se usa corrientemente en las instalaciones de hornos de coque el desbenzolado por carbón activo. El precio de éste suele ser muchísimo más elevado que el del aceite de lavado, por lo que resulta normalmente más barato el desbenzolar por líquido.

La instalación más grande para el desbenzolado del gas por carbón activo es la de la «Gas Light and Cok Corporation» (Londres), con producción de 80 toneladas día.

El aceite ligero obtenido por este procedimiento contiene mucho azufre. Por el procedimiento de lavado con líquido sólo se absorbe del 40 al 60 % de los compuestos azufrosos del gas, mientras que con carbón activo se llega al 70 %. Esto trae consigo mayores gastos en el refinado del benzol bruto.

La «Silica Gel Corporation U. S. A.» hizo ensayos en una instalación piloto para aplicar el gel de sílice como absorbente, sin buen éxito.

4) DESBENZOLADO DEL GAS POR LAVADO CON UN LÍQUIDO.

A) CONSIDERACIONES TEÓRICAS.

El procedimiento más corriente de desbenzolado del gas de baterías de hornos de coque es el del lavado por contracorriente del gas por un líquido absorbente en torres rellenas de madera o de virutas de acero.

Si llamamos:

Y = concentración en benzol del gas en kg., de benzol por kg. de gas.

X = concentración del benzol en el líquido. kg/kg. de líquido absorbente

a las temperaturas usuales en que se verifica la absorción, y dada la pequeña concentración del benzol en el líquido absorbente, le es aplicable la ley de Henry y podremos escribir:

$$Y = k \cdot X$$

Si a Y y a X les añadimos el sufijo e , para indicar las condiciones a la entrada, y s para la salida del gas y líquido en las torres de absorción, y llamamos L al número de kilogramos-hora de líquido que circula, y G a los kilogramos-hora de gas, tendremos, evidentemente:

$$G (X_e - X_s) = L (Y_s - Y_e)$$

$$\frac{L}{G} = \frac{X_e - X_s}{Y_s - Y_e}$$

La máxima absorción tendrá lugar cuando el líqui-

do esté en equilibrio con el gas, tanto a la entrada como a la salida.

Entonces:

$$Y_e = k \cdot X_e$$

$$Y_s = k \cdot X_s$$

Y por lo tanto:

$$\frac{L}{G} = k$$

Como veremos después, k aumenta con el peso molecular del aceite y la temperatura.

En la práctica, para poder asegurar esta máxima absorción, es necesario:

$$A = k \cdot G > 1$$

A recibe el nombre de factor de absorción.

Para calcular el número N de unidades de absorción o transferencia se puede emplear la fórmula de Kremser:

$$E = \frac{Y_e - Y_s}{Y_e - Y_s^*} = 1 - \frac{A - 1}{A^N - 1 - 1}$$

En la que:

Y_s^* = kg. de benzol por kg. de gas en equilibrio con el líquido entrando en las torres.

E = Eficiencia de absorción.

Una vez determinado E y A se puede calcular N

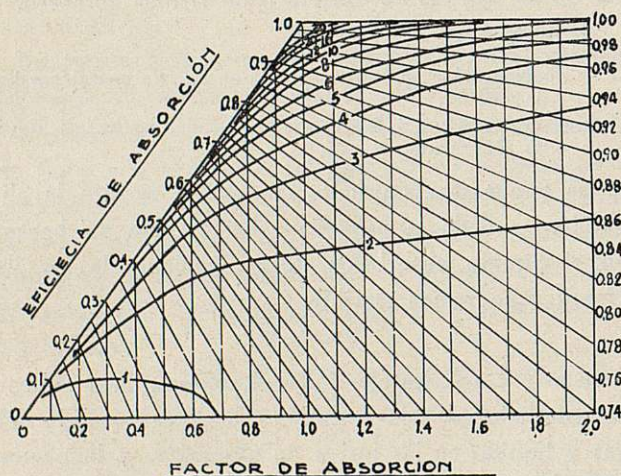


Fig. 9. — Ábaco para calcular el número de pisos teóricos necesarios para la absorción.

mediante la fórmula anterior o utilizando el ábaco de la figura 9, basado en ella.

En las figuras 10, 11, 12 y 16 se expresan los resultados obtenidos en una instalación equivalente a 4

unidades de transferencia ($N = 4$) para temperaturas de 20, 28 y 35 grados y una relación creciente de líquido a gas o, lo que es lo mismo, por existir proporcionalidad, con un factor de absorción creciente.

Las figuras 13, 14, 15 y 17 se refieren a una instalación con $N = 6$.

En ellas se observa con toda claridad, para un determinado aceite, la influencia de las tres variaciones N , A y t° .

B) ACEITE DE LAVADO.

El aceite de lavado desempeña acción principalísima en la buena marcha de una instalación de desbenzolado.

Por ello, todos los esfuerzos que se hagan para mejorarlo y mantenerlo durante el proceso de absorción en las condiciones óptimas compensan económicamente.

En EE. UU. se emplea para la recolección del benzol una fracción de la destilación del petróleo de las siguientes características:

- 1) Densidad: 0,875.
- 2) Viscosidad: 1,2° E a 38° C y menos de 4,5° E a 4° C.
- 3) Poder de emulsión: Agitando energicamente 10 c. c. de agua destilada con 10 c. c. de aceite deberá separarse, cuando se deje en reposo, en menos de 10 minutos el 95 %.
- 4) Fraccionamiento: Menos del 1 % a 300° y más del 90 % a 370°.
- 5) Residuo: Cuando se calienta a una temperatura de 140 a 145° durante 120 horas el depósito sólido será inferior al 0.1 % en peso.

En Europa se emplea de manera casi exclusiva el aceite de creosota obtenido en la destilación del alquitrán.

Esta diferencia entre las técnicas americana y europea obedece a razones de precio. En América, el aceite de petróleo es un producto barato y muy abundante. En Europa, es de difícil adquisición y se encuentra con más facilidad el aceite de creosota que, al fin y al cabo, es un subproducto de la destilación de la hulla y que se suele fabricar incluso en instalaciones anejas a los hornos de coque.

El aceite de petróleo tiene, respecto del aceite de creosota, los siguientes inconvenientes:

- 1) La formación de un precipitado que se deposita en las paredes calientes.

«Scrubber» equivalente a 4 unidades de transferencia.

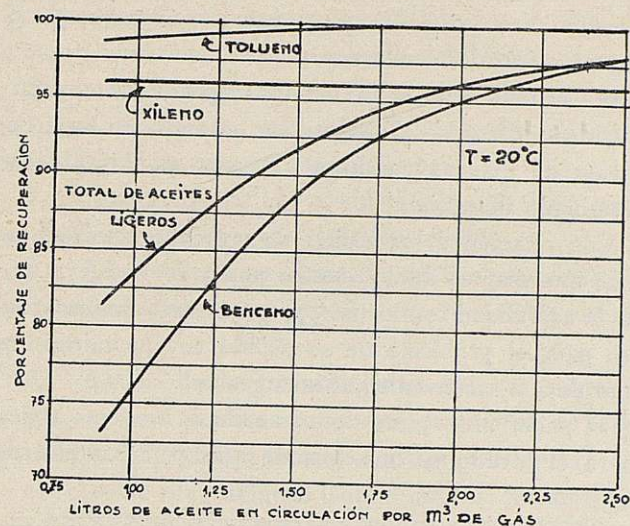


Fig. 10.—Variación a 20° C.

«Scrubber» equivalente a 6 unidades de transferencia.

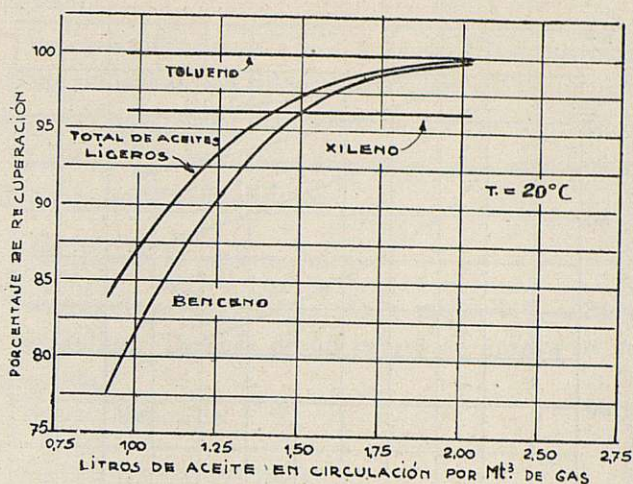


Fig. 13.—Variación a 20° C.

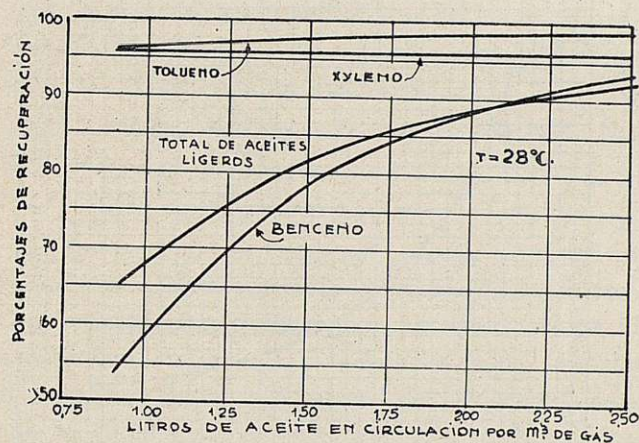


Fig. 11.—Variación a 28° C.

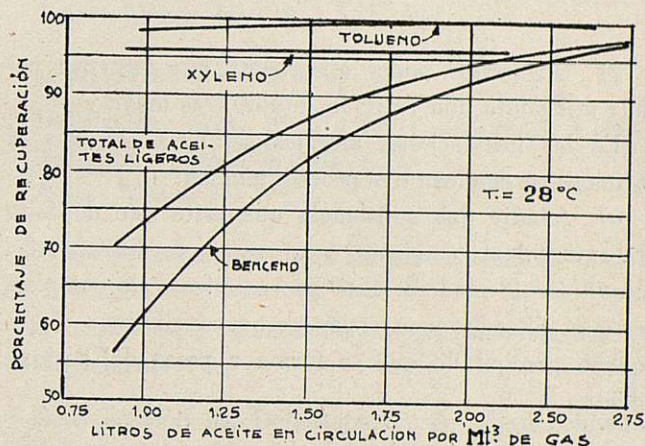


Fig. 14.—Variación a 28° C.

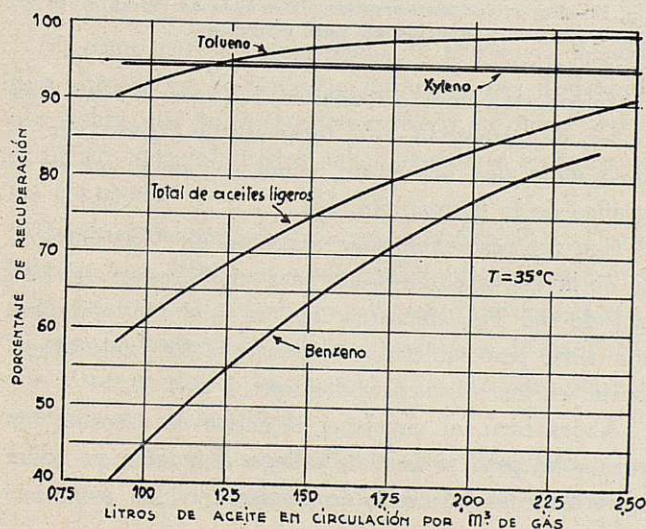


Fig. 12.—Variación a 35° C.

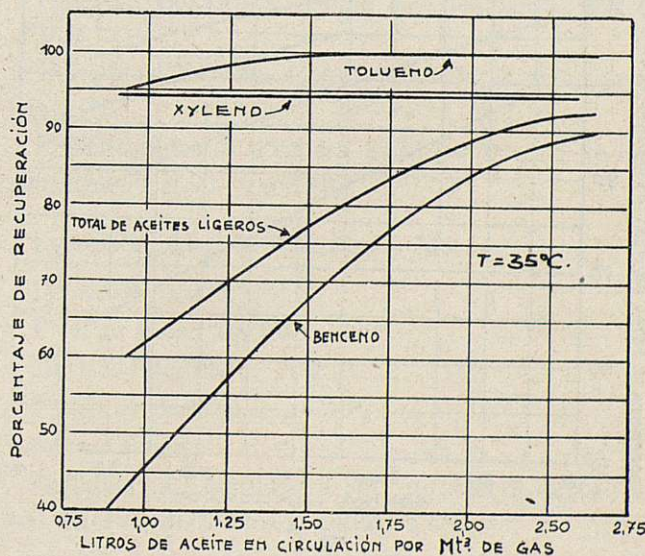


Fig. 15.—Variación a 35° C.

«Scrubber» equivalente a 4 unidades de transferencia.

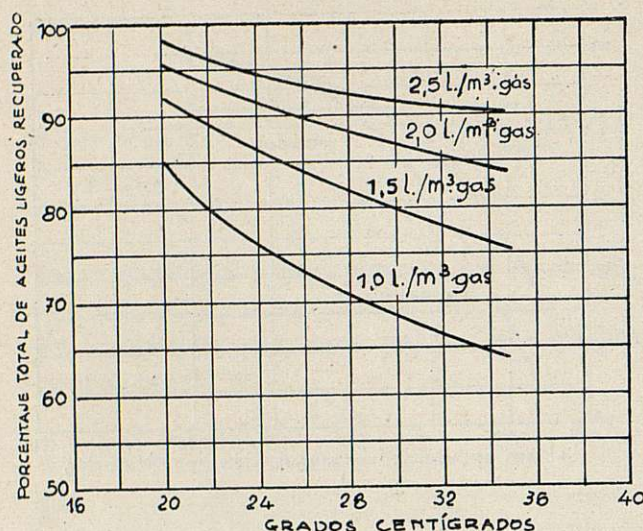


Fig. 16

2) Un menor poder absorbente que hay que suplir utilizando una relación líquido/gas mayor.

En las instalaciones americanas, para eliminar el primero, se emplean tres procedimientos:

a) Añadir una sustancia que evite este depósito. El antioxidante empleado es un producto derivado del alquitrán de madera. Este procedimiento se completa con un filtrado complementario para eliminar el pequeño precipitado que se forma a pesar del antioxidante.

«Scrubber» equivalente a 6 unidades de transferencia.

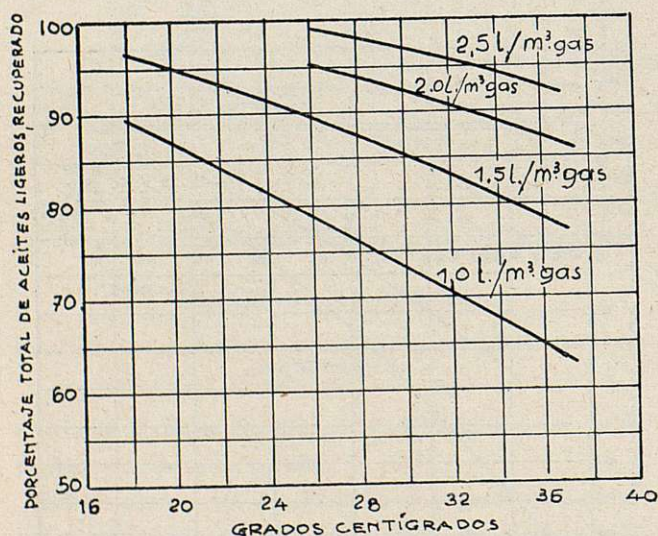


Fig. 17

b) Un purificador-distilador semejante al desembrador, del que hablaremos después, al tratar de la regeneración del aceite de creosota de lavado.

c) Eliminación mecánica del depósito por centrifugado o prensado. Esto se hace sacando de la circulación de manera continua un tanto por ciento determinado de aceite.

Con relación a los aceites de creosota, que son los más interesantes desde nuestro punto de vista, ya que en la actualidad son los únicos que se emplean en nuestro país, el problema de su rápido envejecimiento es uno de sus inconvenientes más graves.

El poder absorbente de un aceite de creosota típico para el lavado es más grande que el del aceite de

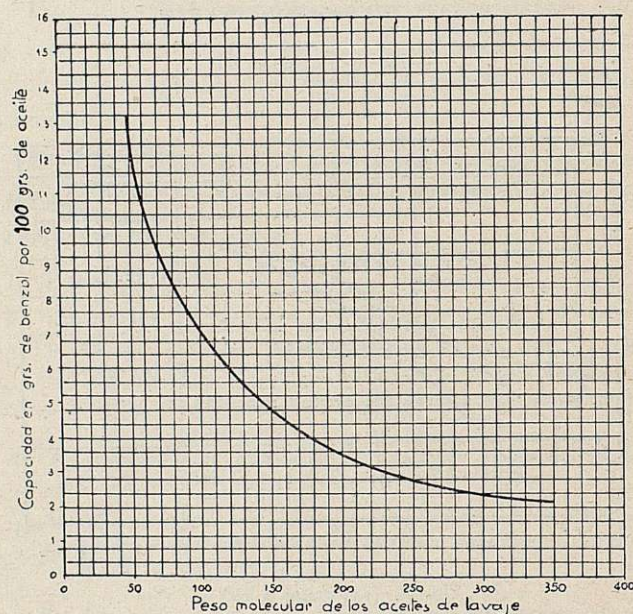


Fig. 18.—Capacidad de absorción de aceites de lavaje a 20° C e función del peso molecular.

petróleo; en números redondos, 1,3 veces mayor. Este poder de absorción está íntimamente ligado con el peso molecular del aceite, como se puede ver en el gráfico de la figura núm. 18.

Con un peso molecular aparente de 175, un aceite de lavado absorbe 4 gr. para una presión del bencol de 6,5 Tn., mientras que un aceite de petróleo, que tiene peso molecular aparente de 250, sólo absorbería, en las mismas condiciones, 3 gr.

Ahora bien, al envejecer el aceite de creosota aumenta su peso molecular y llega a igualar su poder absorbente al del aceite de petróleo.

No existe aún acuerdo completo sobre las causas que producen este envejecimiento de los aceites de creosota utilizados en la recogida del benzol.

Según Hoffert y Claxton, las causas del aumento del peso molecular y viscosidad de los aceites de creosota durante su uso son las siguientes:

1.^a Separación de los productos de más bajo punto de ebullición, durante el desbenzolado.

2.^a Acumulación en el aceite de los productos alquitranosos y resinosos que forman la «niebla de alquitrán».

3.^a Acción de los constituyentes del gas sobre el aceite, la cual motiva se formen polímeros de alto peso molecular. Entre estas se pueden considerar:

a) Acción del oxígeno sobre ciertos constituyentes, entre los que se encuentran los fenoles.

b) Acción del hidrógeno sulfurado y del azufre sobre los constituyentes no saturados.

c) Acción del ácido sulfúrico y de los ácidos sulfónicos (formados por la oxidación del sulfhídrico) sobre los compuestos no saturados.

d) Acciones análogas a la anterior del NH_3 , NO , HCl , HCN , C_2N_2 y CO_2 .

4.^a «Craking» y polimerización.

En un principio se creía que la única causa del espesamiento de los aceites era la «niebla de alquitrán». Con la instalación de la depuración electrostática, si aquella fuera la única causa, debería quedar resuelto el problema del envejecimiento de los aceites, cosa que no sucedió. Hubo una instalación en lo que aumentó este espesamiento después de instalarse depuradores electrostáticos, lo cual se ha atribuido a la formación de óxidos nitrosos y de ozono.

Si, como parece comprobado, la existencia de óxidos nitrosos en el gas tiene influencia tan desfavorable, habrá que tener especial cuidado en que el ácido sulfúrico consumido en el taller de sulfato amónico no los contenga.

Desgraciadamente, por lo que a la Sociedad «Duro-Felguera» se refiere, el ácido consumido en este taller, que es fabricado por el procedimiento de las cámaras de plomo, contiene cantidades apreciables de estos óxidos nitrosos que se incorporan a la corriente del gas antes de ser desbenzolado.

En opinión del especialista inglés Middleton, los causantes del espesamiento del aceite son los com-

puestos no saturados de los componentes ligeros del mismo.

Las especificaciones a que debe satisfacer un buen aceite de lavado son diferentes, en detalles, de un país a otro, y aun dentro del mismo país.

La Sociedad M. «Duro-Felguera» tiene establecidas las tres siguientes calidades:

CALIDAD I.—Aceite Solvay:

Destilación: Máx., 1 % a 200°; mín., 90 % a 300°.

Naftalina: Después de un cuarto de hora a 0° no precipita.

Agua: Menos del 1 %.

CALIDAD II.—Aceite 90 %.

Destilación: Máx., 10 % a 200°; mín., 90 % a 300°.

Naftalina: Menos del 10 %.

Agua: Menos del 1 %.

CALIDAD III.—Aceite 80 %:

Destilación: Máx., 10 % a 200°; mín., 80 % a 300°.

Naftalina: Menos del 10 %.

Agua: Menos del 1 %.

Estas especificaciones son las más corrientes usadas en Alemania.

A continuación damos dos especificaciones típicas en Inglaterra:

Especificación del Departamento de Abastecimiento de Explosivos:

Densidad a 15° = 1,010 a 1,030.

Fenoles: Lo menos posible (corrientemente del 8 al 9 %).

Naftalina: No debe depositarse nada cuando se enfría a 13°.

Fraccionamiento: Primera gota, por encima de los 200°. Del 70 al 90 % a 300°.

Especificaciones de Walmsley y Morfey:

Densidad: 1,035.

Primera gota: De 210 a 220°.

50 % de destilado: A 250°.

80 % de destilado: a 300°.

Agua: Trazas.

Naftalina: El destilado a 300° no deberá depositar más del 7 % de sólidos al enfriar a 7°.

Sobre el contenido en fenoles del aceite de lavado se ha observado que aumentan su poder absorbente. Ahora bien, esta mejora no compensa el uso de aceites fenolados, pues se ha comprobado que envejecen con más rapidez que los desfenolados. El desfenolado del aceite es interesante por estos dos conceptos:

a) Se aumenta la resistencia al envejecimiento de los aceites.

b) Se obtiene un producto comercial de notable valor.

En resumen, las propiedades óptimas de un aceite de lavado pueden resumirse en los siguientes nueve puntos:

1.º Poder absorbente grande; es decir, que la constante k de la relación $Y = k \cdot X$ sea lo más pequeña posible. Cuanto más pequeña k , menor será el consumo de energía en el movimiento del líquido y su calentamiento y enfriamiento.

2.º Calor específico pequeño. Al disminuir el calor específico también lo hace el consumo de vapor para la operación de desbenzolado, así como la cantidad de agua necesaria para la refrigeración del aceite.

3.º Tensión de vapor pequeña a la temperatura de desbenzolado. Así también serán pequeñas las pérdidas de aceite por vaporización en el gas.

4.º Punto de ebullición alto. De esta manera se evitan pérdidas de aceite durante el desbenzolado por pasar al bencol bruto impurificándolo.

5.º Viscosidad lo más baja posible, y que ésta aumente sólo lentamente al disminuir la temperatura. La viscosidad pequeña favorece una mejor distribución del líquido en las torres de lavado.

En lo referente a aceites de creosota se ha observado que el poder absorbente decrece cuando aumenta la viscosidad por encima de los 3,5º E.

6.º La densidad debe ser tal que evite la emulsión con el agua. Esto depende del tipo de aceite. Parece ser que los aceites que contienen fenoles tienen mayor facilidad para emulsionarse. Una densidad menor de 0,98 o mayor de 1,020 suele ser suficiente.

7.º Debe conservar sus propiedades iniciales en el transcurso de los ciclos.

8.º No debe contaminar el gas con sustancias indeseables. Por ejemplo, si contiene mucho naftaleno podrá desprenderse y aumentar el contenido del gas

en este cuerpo, lo que produce obstrucciones en las tuberías.

9.º Será económico y de fácil adquisición.

C) INSTALACIONES DE DESBENZOLADO DEL GAS DE LA SOCIEDAD «DURO-FELGUERA».

La Sociedad Metalúrgica «Duro-Felguera» tiene dos instalaciones que pueden trabajar en paralelo, o funcionar sólo una, quedando la otra de reserva. Fueron proyectadas por la casa alemana Dr. Otto, y son en todo iguales.

Están dotadas, cada una, de cinco torres de las siguientes características:

Una torre refrigerante:

Diámetro: 3.000 mm.

Altura total: 22.130 mm.

Altura del apilado de madera: 9.825 mm.

Una torre de naftalina:

Diámetro: 3.000 mm.

Altura total: 22.130 mm.

Altura apilados de madera... } Refrigerante: 8.600 mm.
 } Naftalina: 3.100 mm.

Tres torres de desbenzolado:

Diámetro: 3.000 mm.

Altura total: 30.000 mm. c. u.

Altura apilados de madera: 22.750 mm. c. u.

La marcha del desbenzolado es la siguiente:

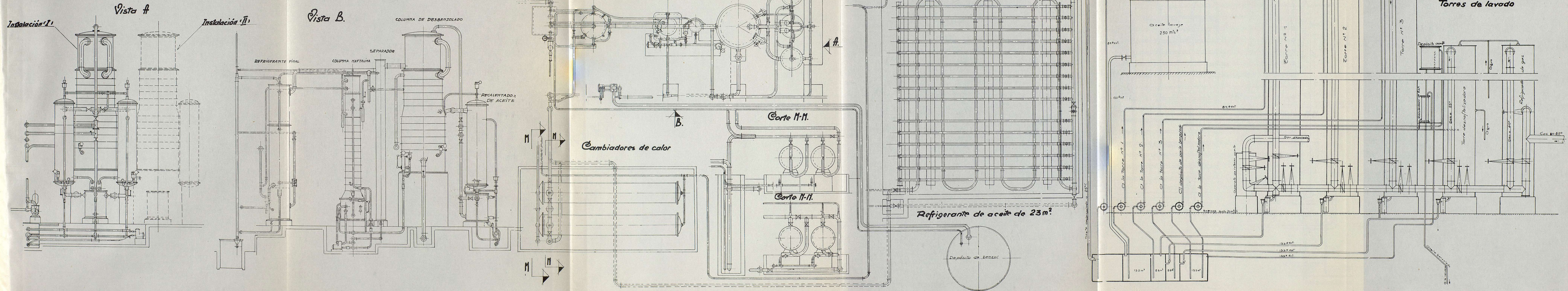
El gas, después de pasar por el taller de sulfato, en donde sufre un calentamiento, pasa al taller de recolección, y en la torre refrigerante es enfriado a una temperatura de 40 a 45º.

De este refrigerante va a la torre de naftalina, la cual se encuentra dividida en dos secciones. La inferior, regada por aceite caliente, y la superior, por agua fría. Este aceite es calentado a temperaturas de 45 a 47º. El gas entra por la parte inferior de la torre y sale por la superior, y antes es bañado por el aceite caliente que le quita la naftalina, y después, por el agua fría, que lo enfría a temperaturas de 20 a 25º.

A continuación recorre sucesivamente las tres restantes torres. En todas ellas entra por la parte inferior y sale por la superior. En cada una de estas torres es bañado por una corriente descendente de aceite frío de lavado.

Finalmente, pasa por un filtro separador de aceite para precipitar el que arrastra el gas.

Fig. 26 INSTALACIÓN DE RECOLECCIÓN DE BENZOL DE LA "S.M. DURO-FELGUERA"

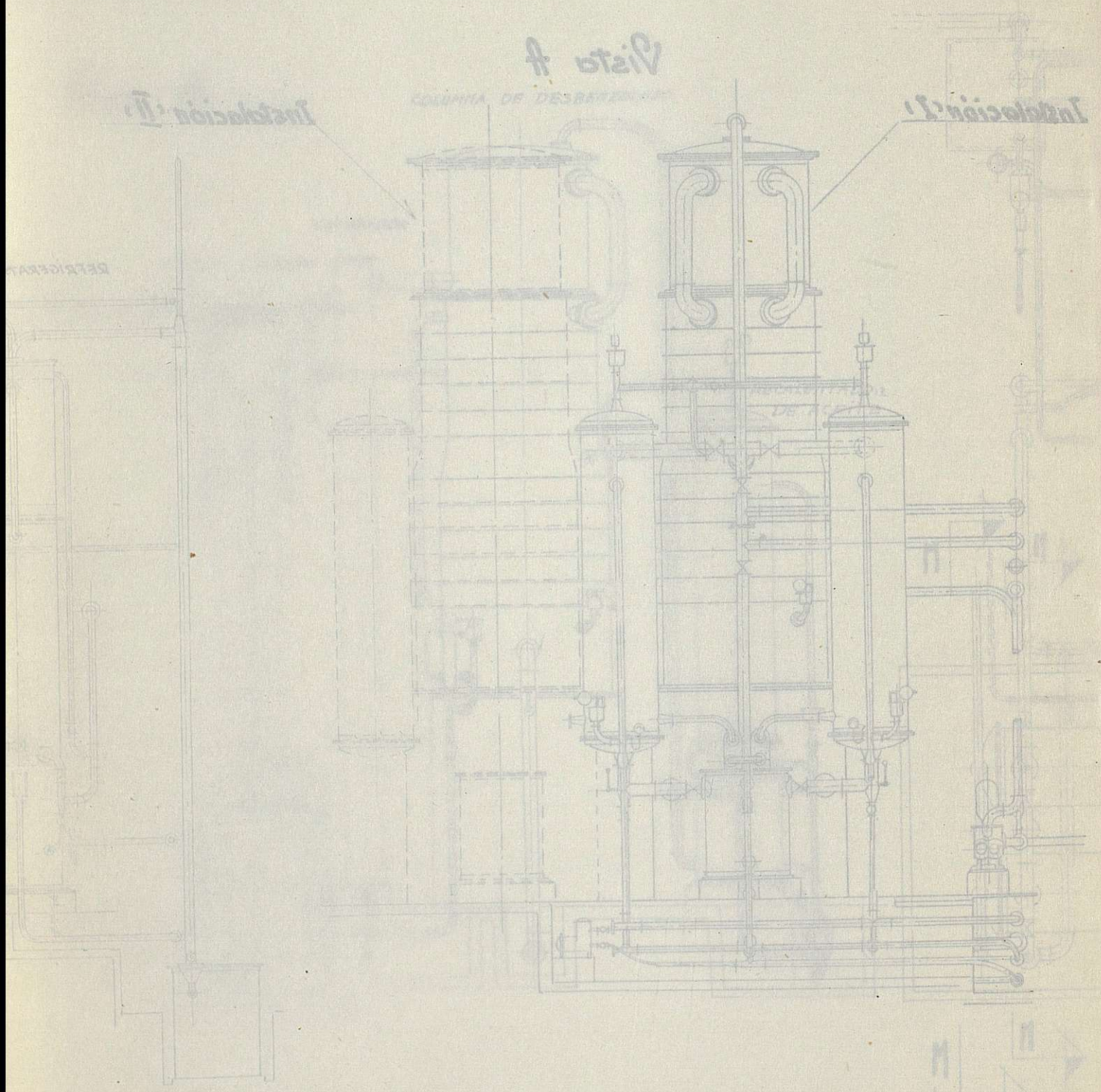


Vista A

Instalación II

Instalación I

COLUMNA DE DESBENTONADO



La circulación del aceite se hace mediante bombas de la siguiente manera:

La bomba núm. 1 aspira del depósito núm. 1 y lo eleva a la primera torre. La salida de esta torre va al depósito núm. 2, en donde una bomba lo eleva a la segunda torre. La salida de ésta desemboca en el depósito núm. 3, pero si se quiere, y con objeto de enriquecer más el aceite, se puede, mediante el embudo que se ve en la figura, que el aceite vuelva otra vez al depósito 2 y, entonces, trabaja la bomba núm. 2 en circuito cerrado con el depósito núm. 2. De manera análoga, con relación a los depósitos núms. 3 y 4 y torre núm. 3, trabaja la bomba núm. 3.

En el depósito núm. 4 es donde afluye el aceite benzolado de mayor concentración, que es elevado con una cuarta bomba a otro depósito situado en lo alto de la torre de naftalina y alimenta la columna de desbenzolar, por gravedad.

De este depósito también aspira la bomba de aceite caliente para la torre de naftalina, que trabaja en circuito cerrado sobre aquél.

En la instalación, según se proyectó, la cantidad de aceite en circulación es, aproximadamente, de 40 ton. Las bombas dan un caudal horario de 16 m³, de modo que cada 2^h 30^m el aceite recorre un ciclo; al día son, aproximadamente, 9,6 ciclos.

Modernamente, la tendencia seguida en las nuevas instalaciones es la de tener en circulación un volumen de líquido tal que asegure un número de ciclos diarios inferior a dos. Con esto se evita un envejecimiento prematuro del aceite en circulación.

Con este objeto, la Sociedad Metalúrgica «Duro-Felguera» ha montado un depósito intermedio de circulación para cada instalación de 250 m³ de capacidad. Así, se podrá llegar a tener en circulación una cantidad máxima de 300 ton. de aceite de lavado, con lo que el número de ciclos se reduce a uno cada 18 horas. El número de ciclos diarios será el de 1,3 aproximadamente.

Estos depósitos tienen las salidas a unos 50 cm. del fondo, con objeto de que, actuando como decantadores, se reúnan allí las partes más densas. De este fondo es de donde se retira la cantidad necesaria de aceite para ser regenerado y mantener la viscosidad constante.

Del estudio teórico se deduce que las variables que

hay que vigilar para obtener un buen desbenzulado durante la marcha de la instalación son las siguientes:

- 1.º Ínfimo contenido en benzol del aceite desbenzulado a su entrada en la torre núm. 1.
- 2.º Temperaturas apropiadas del aceite y del gas.
- 3.º Caudal de aceite suficiente en relación con el gas que se ha de tratar para mantener un grado de eficiencia elevado.

Para vigilar la primera variable se hace todos los días una determinación del contenido en benzol del aceite desbenzulado.

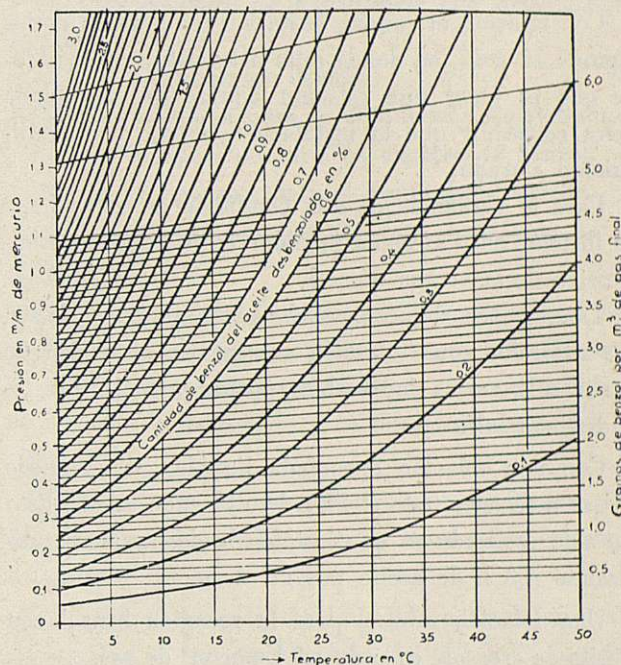


Fig. 19

Peso molecular del aceite . + 175
Densidad del aceite — 1,04
Densidad del benzol — 0,9

Por el gráfico de la figura 19, que se refiere a un determinado aceite de lavado, se puede ver que para no tener una pérdida de benzol en el gas superior a 2 gr. m³, con una temperatura de 25°, el contenido en benzol del aceite desbenzulado no debe de ser superior a 0,3 %.

Para medir la temperatura del gas y del aceite existen los siguientes termómetros:

- Uno a la entrada del gas al refrigerante.
- Uno a la entrada del gas a la torre de naftalina.
- Uno a la entrada del gas a la torre núm. 3.
- Uno a la salida del gas de la torre núm. 1.

Uno a la entrada del aceite a la torre núm. 1.

Uno a la salida del aceite del recalentador.

Cada dos horas el maquinista hace las lecturas, que apunta en un parte de marcha.

La temperatura del aceite debe mantenerse por lo menos dos grados más elevada que la de los gases.

La temperatura a la salida del recalentador del aceite para la torre de naftalina se mantiene a unos 45°.

Volviendo otra vez sobre el gráfico núm. 19 vemos que, con un contenido en benzol del aceite desbenzolado de 0,3 % con 25°, la pérdida en benzol es de 2,4 gr/m³, y con 35° se eleva 3,6 gr/m³.

Con relación al caudal, basta ver los gráficos de las figuras 10 a 17, en donde salta a la vista lo importante que es tener una relación líquido/gas apropiada para conseguir que la instalación trabaje con rendimiento elevado.

Para la vigilancia de esta condición es conveniente el instalar un diafragma medidor en la tubería de impulsión de la bomba núm. 1.

Tampoco es conveniente el elevar mucho el factor de absorción, pues también aumenta la absorción de otras sustancias indeseables como, por ejemplo, el hidrógeno sulfurado.

Con una relación apropiada líquido/gas se puede llegar a recoger todo el SH₂ desulfurando el gas. Esto ha sido realizado en una instalación de Inglaterra utilizando 4,3 l. de aceite por m³ de gas.

Una relación normal para la recogida benzol con aceite de creosota es la de 1,6 l. por m³ de gas.

5) DESBENZOLADO DEL ACEITE.

A) CONSIDERACIONES TEÓRICAS.

La extracción del benzol del aceite benzolado se hace mediante destilación continua en una columna de platillos con borboteadores.

Si nos fijamos en la figura 20, debido a la forma de las curvas de los puntos de ebullición que separan las fases líquido y vapor y a las pequeñas concentraciones del benzol en el aceite, para una eliminación lo más completa posible de aquél sería necesario llegar casi a la temperatura de ebullición del aceite. Esta temperatura sería de 210°, si se trabaja con aceite de alquitrán de hulla, y 300° en el caso de que el líquido absorbente fuera el aceite de petróleo.

El conseguir estas temperaturas tan elevadas tiene los dos siguientes inconvenientes:

1) Peligro de descomposición de los aceites y envejecimiento más rápido de éstos.

2) Mayor consumo de energía térmica.

Estas dos dificultades pueden ser evitadas mediante una de las dos soluciones siguientes:

1) Destilando con vapor directo.

2) Destilando con vacío.

En efecto:

Llamemos: P_1 a la presión del vapor del aceite a la temperatura t .

P_b a la presión de vapor del benzol a la temperatura t .

x a la fracción molecular del benzol disuelto.

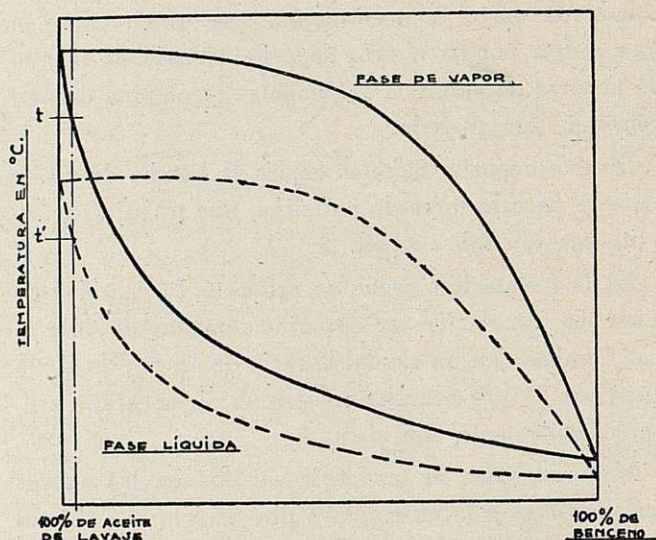


Fig. 20.—Curvas de puntos de ebullición para el sistema benzol-acetate de lavaje.

tendremos en una destilación corriente a la presión atmosférica:

$$760 = P_1 (1 - x) + P_b x$$

a la temperatura t necesaria para que el líquido esté en ebullición.

Despejando x :

$$x = \frac{760 - P_b}{P_b - P_1}$$

Si, en vez de destilar a 760 mm., lo hacemos mediante el vacío a una presión de 610 mm., por ejemplo, tendremos:

$$x = \frac{610 - P_b}{P_b - P_1}$$

A la misma temperatura t y evidentemente:

$$x' < x$$

Si introducimos vapor de agua con una tensión parcial P_a , tendremos:

$$760 = P_1 (1 - x') + P_b x'' + P_a$$

Y despejando x'' :

$$x'' = \frac{760 - P_1 - P_a}{P_b - P_1}$$

$$x'' < x$$

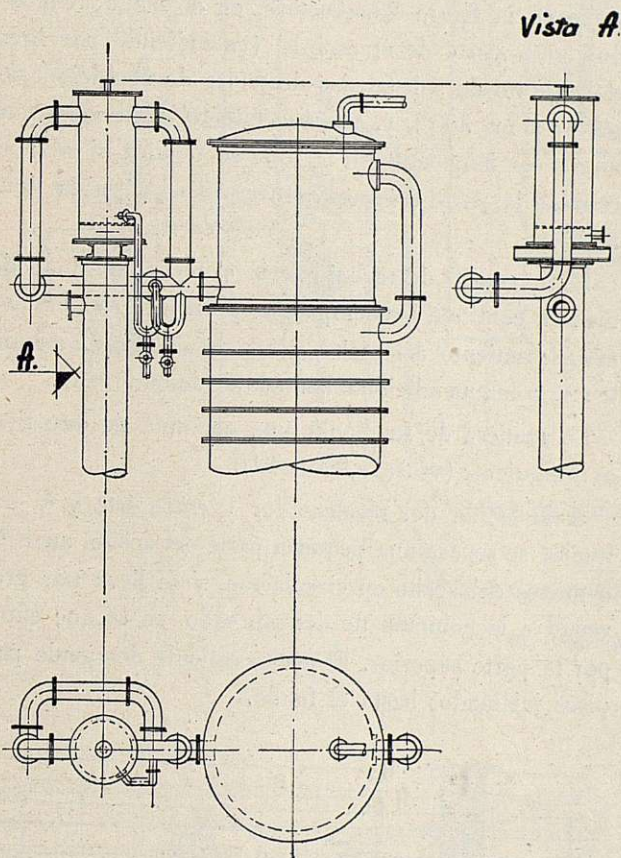


Fig. 21.—Deflegmador complementario de agua.

Vemos, pues, que tanto en un caso como en otro los resultados son análogos: Desplazar la curva de los puntos de ebullición en el sentido de las temperaturas decrecientes. La curva llena, figura 20, pasa a ocupar la posición de la de puntos. De esta manera, un aceite con un contenido de benzol x necesitará una temperatura t' menor para desprender el mismo.

Razonando de otra manera: Para la misma temperatura el contenido en benzol del aceite en equilibrio con su vapor será menor cuando se inyecta vapor o

se trabaja bajo vacío que trabajando a la presión atmosférica.

B) INSTALACIÓN DE DESBENZOLADO DEL ACEITE DE LA SOCIEDAD METALÚRGICA «DURO-FELGUERA».

Correspondiéndose con las dos instalaciones de desbenzolado de gas existen otra dos, también idénticas, para el desbenzolado del aceite.

Cada una está formada por los siguientes elementos:

- 1) Dos cambiadores de calor.
- 2) Un recalentador de aceite.
- 3) Una columna de desbenzolar con deflegmador de aceite.
- 4) Un separador de flegmas.
- 5) Una columna para la eliminación de naftalina.
- 6) Un refrigerante para los vapores de benzol.
- 7) Un refrigerante para el aceite desbenzolado.

La marcha seguida por el aceite benzolado es la siguiente:

Desde el depósito elevado pasa primero por el deflegmador, en donde se calienta a unos 78° . De aquí va a los cambiadores, que trabajan en serie, enfriando el aceite desbenzolado y calentando el benzolado a unos 95° .

Por último, en los recalentadores de aceite con vapor indirecto a unos $135/145^\circ$, y entra en la columna en su parte media.

El aceite desbenzolado sale por la parte inferior de la columna a una temperatura de $137/147^\circ$ C, pasa a los cambiadores y, finalmente, a los refrigerantes de lluvia, en donde son enfriados a la temperatura más conveniente para el desbenzolado del gas.

Los vapores pasan, después de salir de la columna, al deflegmador de aceite y, a continuación, al separador de flegmas, en donde es eliminada el agua y la flegma es devuelta a la columna, separándose una fracción de la misma que entra en la columna de naftalina para eliminar ésta.

En esta columna de naftalina se debe mantener la temperatura en la base de la misma entre los 155° y 160° , añadiéndose algo de vapor directo para el arrastre de los aceites. La temperatura de salida de vapores de esta columna debe mantenerse, mediante el deflegmado, entre los 85° y 90° .

Los vapores no condensados entran en el refrige-

rante, en donde son condensados junto con el agua que llevan y se separan por densidad.

La calidad del benzol bruto obtenido en la actualidad es de 90/92 % a 180°. Un benzol con este fraccionamiento debe de sufrir una destilación antes de

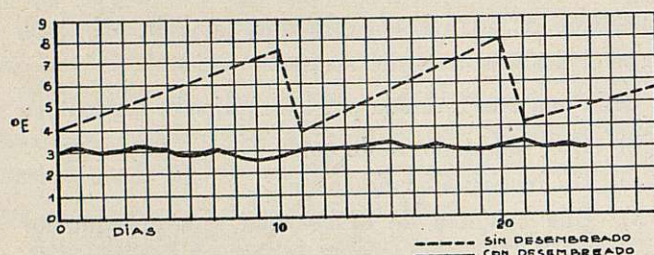


Fig. 22.—Viscosidad del aceite a 20° C.

ser lavado por contener de un 8 a un 10 % de sustancias arrastradas del aceite de lavado. Por otro lado, como es ésta una de las causas del envejecimiento del aceite, ya que los cuerpos arrastrados serán los de peso molecular más bajo, es necesario el obtener un benzol bruto de 96/98 % a 180°. Otra ventaja es que se puede suprimir la destilación previa, y, si no se hace esta destilación, como ocurre en la Sociedad «Duro-Felguera» esta mejora se traduce en una disminución de la cantidad de ácido y sosa necesarias para el lavado.

Actualmente no se puede obtener un benzol de estas características por ser insuficiente la deflegmación con aceite. Para reforzar esta deflegmación se va a montar un deflegmador complementario de agua, conforme se indica en el dibujo de la figura 21.

De momento se han obtenido buenos resultados mediante la introducción de benzol bruto de producción en el último anillo de la columna. Con ello se consigue disminuir la temperatura de los vapores a la salida del deflegmador de aceite a unos 88°, con lo que aumenta el fraccionamiento del benzol a 180°. La cantidad de benzol que debe introducirse para una producción diaria de 10 ton. de benzol es, aproximadamente, de 250 litros/hora.

Las pruebas se verificaron con una bomba de gran volumen, en relación con el que es necesario para esto, y hay que trabajar con el «by-pass» abierto, y la regulación se hace difícil. Se van a montar, en vista del buen éxito, unas bombas del caudal preciso para hacer esta operación.

Cuando se trabaja con introducción de benzol, es imprescindible el montar un manómetro en la base de la columna para prevenir los alborotos.

C) COLUMNA DE DESEMBREAR.

El mantenimiento de la viscosidad mediante el procedimiento de retirar diariamente una cantidad del aceite en circulación y la adición de otra algo mayor de aceite virgen para compensar las mermas, conduce a trabajar con viscosidad variables, conforme puede verse en la figura 23. Además, en el aceite «viscoso» una gran parte de él es breá (entendiendo por breá el conjunto de sustancias de punto de ebullición superior a los 300°), y, por lo tanto, el gasto de aceite virgen es muy superior al que se tendría si sólo se retirase la parte del aceite envejecida. Véase la figura 23.

El tipo ideal de trabajo sería el de ir retirando de manera continua los compuestos pesados formados por el espesamiento del aceite, y esto se consigue mediante una columna adicional llamada de desembreado.

La manera de funcionar una columna de este tipo es la siguiente (véase la figura 24):

A la salida del recalentador y entre éste y la columna se separa una pequeña parte del aceite, un 1 % o menos del aceite en circulación, y se lleva por gravedad a la columna de desembreado, en la que entra por la parte superior. El aceite caliente descende por pisos inclinados hasta el fondo.

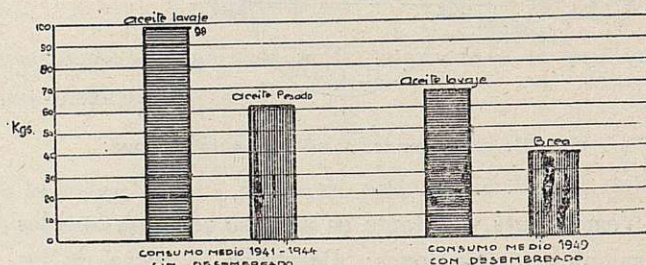


Fig. 23.—Consumo de aceite de lavaje por Tm. de benzol (98 % a 180° C).

En marcha corriente el vapor de regadera se inyecta en la columna de desbenzolar a través de la llave 7, en marcha, desembreado, se cierra aquélla y se introduce el vapor por el fondo de la columna de desembrear.

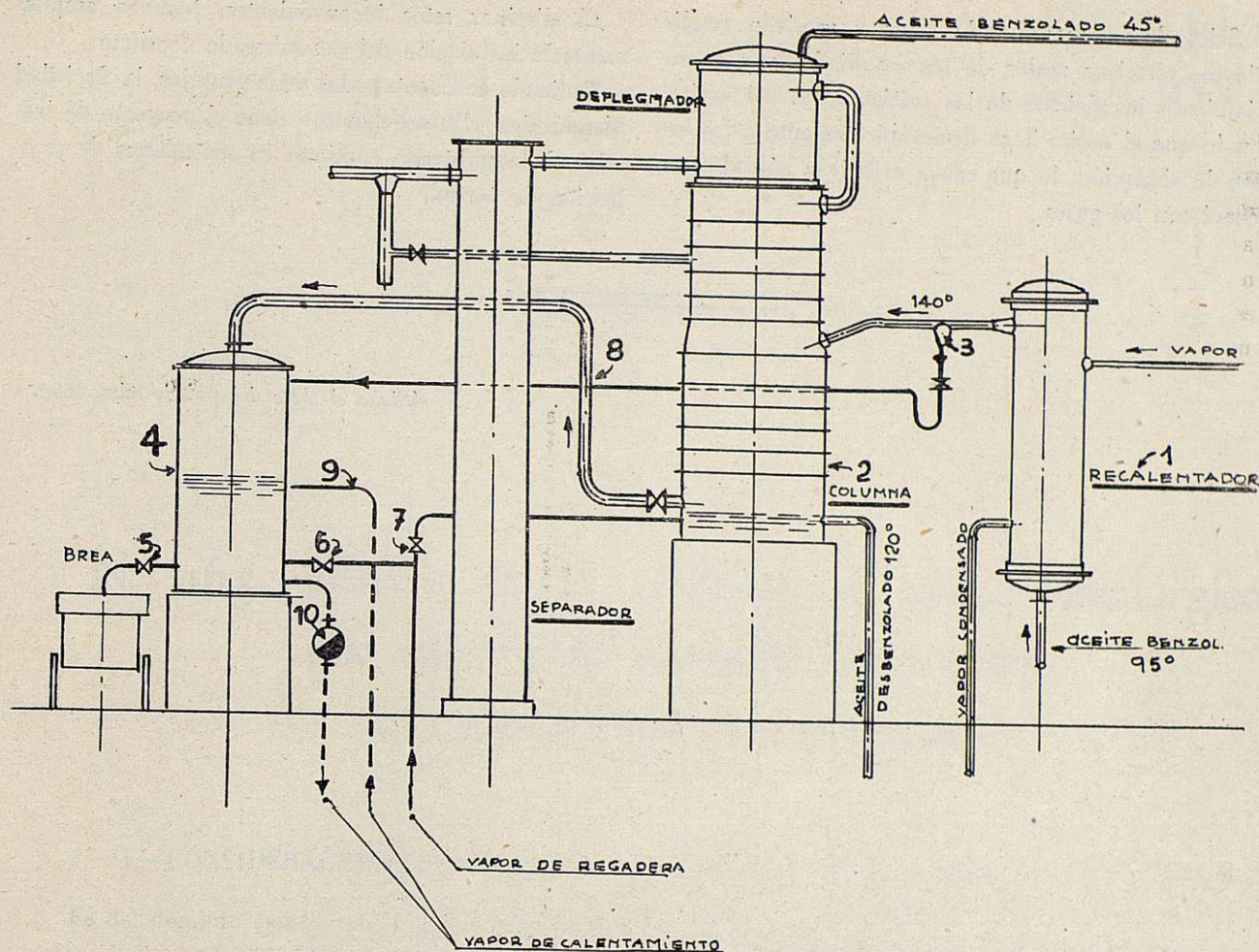


Fig. 24.—Desembreador, según Otto.

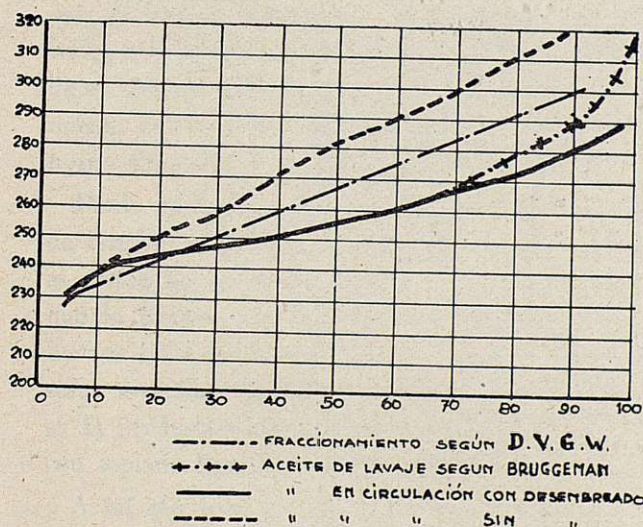


Fig. 25.—Fraccionamiento del aceite de lavaje en %.

Los vapores de aceite arrastrados por el vapor y mezclados con éste se introducen ahora por el fondo de la columna de desbenzolar, con lo que contribuye al desprendimiento del benzol en esta columna.

La brea acumulada en el fondo del desembreador se saca por el grifo 5 y, una vez enfriada, forma bloques de fácil descarga.

La columna de desembrear tiene calentamiento indirecto por vapor de agua mediante la tubería número 9. El 10 es el purgador automático de este vapor.

Las ventajas conseguidas con la columna de desembrear son extraordinarias, ya que con ella se consigue trabajar siempre con un aceite en circulación de buena calidad y, por lo tanto, se eliminan todas las perturbaciones producidas en la instalación por los aceites envejecidos. Las partes pesadas de éstos producen obstrucciones, deposiciones sobre las su-

perfiles de intercambio de calor y motivan rendimientos térmicos malos de los cambiadores y a enfriamiento insuficiente de los refrigerantes del aceite, con lo que el aceite llega demasiado caliente a las torres de absorción, lo que causa excesivas pérdidas en benzol con los gases.

El eliminar estos inconvenientes, justifica ampliamente la instalación del desembreado continuo.

Teniendo en cuenta todas estas ventajas, la Sociedad Metalúrgica «Duro-Felguera» tiene el proyecto de instalar el desembreado continuo en sus talleres de recolección de benzol.

(Sigue el texto del trabajo núm. 165.)

N.º 165. - Mejora de las calidades del coque metalúrgico por adición de menudos antracitosos

Autor: D. JOSÉ MARÍA SEGOVIA CABRERA

Ingeniero de Minas

1.—CONSIDERACIONES GENERALES

Es del dominio común en la industria de la carbonización, que el contenido en materias volátiles de un carbón, que da un buen coque metalúrgico, ha de oscilar entre el 20 y 26 %. Los carbones que actualmente destila la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera tienen un contenido entre el 30 y 35 %, lo que hace que, si bien el rendimiento en subproductos sea elevado, en cambio, las características físicas del coque dejen mucho que desear en cuanto a su comportamiento en los hornos altos, especialmente, en nuestro horno alto núm. 2, de 21 metros de altura útil.

Desde hace cinco años ha sido esta materia objeto de estudio, y se trata, por diversos medios, de darle al coque las características de resistencia y dureza que lo hagan apto para una marcha normal de los hornos altos, así como reducir en lo posible el consumo específico de coque —factor económico esencial en la producción de arrabio—, y permitir la marcha con soplado elevado y presión mínima de viento.

A tal efecto se hicieron pruebas, mediante la adición a la mezcla de carbón polvillo de coque en pro-

porciones variables, aunque pequeñas y del orden del 5 %. La dificultad principal encontrada, cuando se realizaron estas pruebas, hace ya años, fué la molienda del coque, por el elevado poder abrasivo del mismo, lo que hizo que fuese necesario efectuarla en Barcelona. Aunque los resultados fueron satisfactorios, como era de esperar, tal práctica quedó desechada por el elevado desembolso que habría significado la adquisición de una batería de molinos con producción de unas 100 tons/día. El coque a moler se habría de tomar de la fracción 0-10 mm., obtenida en nuestras instalaciones de clasificación de coque, lo que, además, lleva la desventaja de que, precisamente, las fracciones inferiores del coque tienen mayor contenido en cenizas, aunque fácilmente puede comprenderse que la molienda del coque metalúrgico mayor de 40 mm. haría imprescindible una trituración primaria, con el consiguiente aumento en el coste de la instalación para la obtención de polvillo de coque. Hasta qué punto podría quedar compensado este aumento con la mejor calidad del polvillo y menor contenido de cenizas en el de baterías es cuestión de difícil respuesta, máxime en las condiciones en que trabajan las baterías de

hornos de coque de la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera, con un parque de carbones que hace imposible toda mezcla racional de los mismos, y teniendo en cuenta, además, que el objeto que se persigue no es obtener un coque de características óptimas, sino una *regularidad* en las mismas, aunque no sean las mejores, junto con una dureza admisible.

Por todo ello, ha sido práctica común en esta Sociedad la adición a la mezcla de carbones de menudos antracitosos, muy bajos en volátiles —del 8 al 10 %— que, si bien no coquizan, dan, añadidos en debidas proporciones, mayor dureza al coque. Así se utiliza desde hace muchos años el menudo de «Piñeres», de unos 9 % de volátiles y en cantidad no superior al 5 %, ya que su contenido en cenizas (del 35 % como término medio) hace imposible un porcentaje más elevado. Esta adición, si bien daba al coque mayor dureza, no era la suficiente para que nuestros hornos altos, especialmente el núm. 2, pudiesen marchar, no ya en condiciones óptimas normales, pero sí, al menos, tolerables.

Se decidió, por tanto, el empleo de otros menudos antracitosos, ajenos a la Sociedad, para, adicionándolos al menudo de «Piñeres» que pudiese llegar procedente de nuestras propias minas, conseguir dar al coque las condiciones físicas generales deseadas. Estos carbones fueron los de «Industrial Asturiana» y «Velasco Herrero».

2.—PLAN GENERAL QUE SE HA SEGUIDO

Lo esencial, una vez decidida la adición en mayor escala de la usual de menudos antracitosos, era que, el porcentaje que se añadiera, pudiese mantenerse lo más constante posible en los diferentes porcentajes que se experimenten, lo cual no pudo conseguirse de manera adecuada por la disposición general de nuestro parque de carbones, como pasamos a detallar seguidamente.

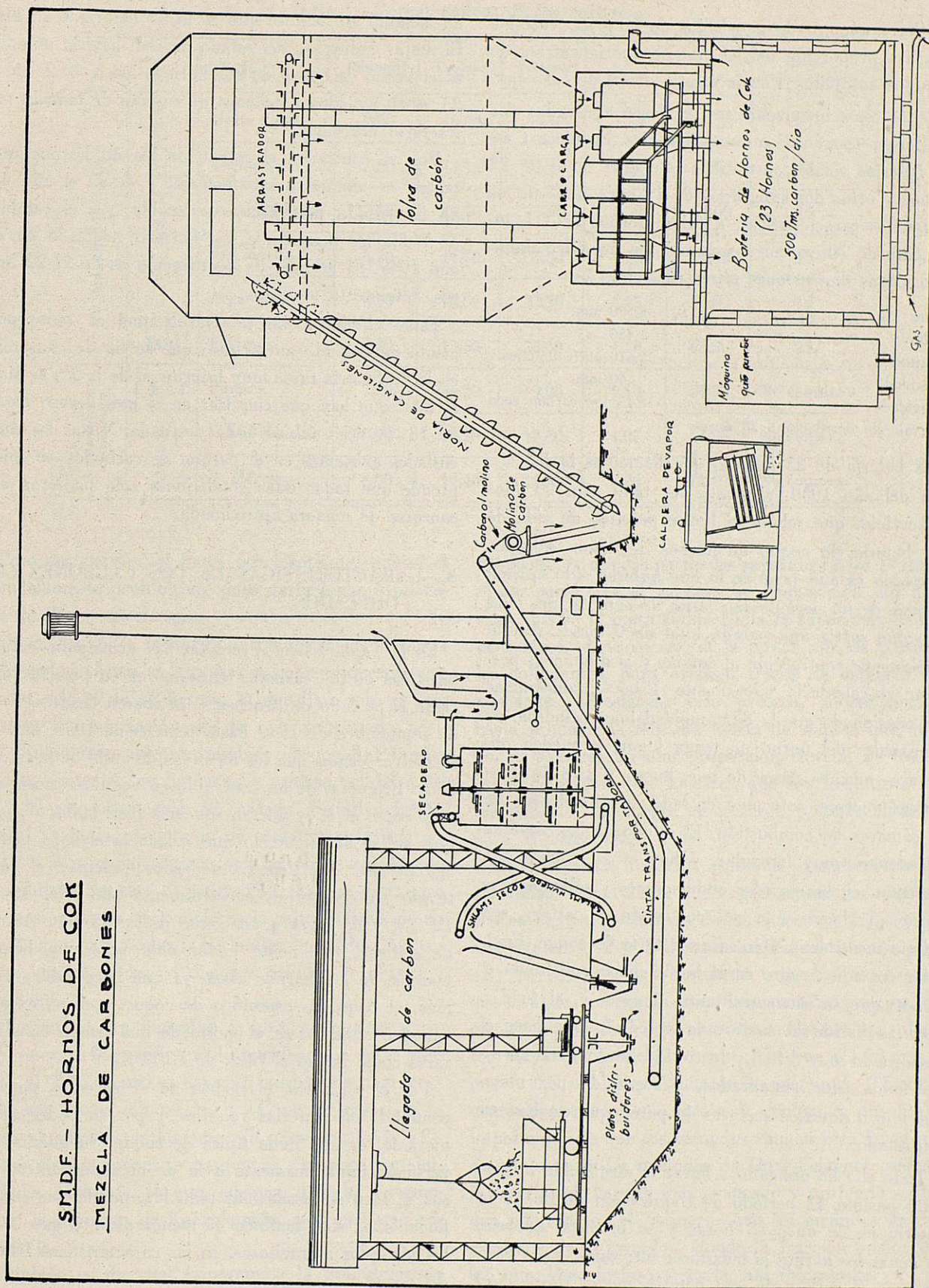
La llegada de carbón al parque (véase esquema) —de unas 6.000 toneladas de capacidad— se hace por tres vías distintas: RENFE, Langreo y Ferrocarril General de vía estrecha de la Sociedad. Este carbón puede apilarse en el parque o bien elevarse directamente a las tolvas de alimentación de las baterías. Generalmente, la descarga es mixta, o sea, parte se apila directamente, y parte se sube a las tolvas. Este último tipo

de descarga tiene lugar de la manera siguiente: En la parte media anterior del parque existen —debajo de las vías que corren a lo largo del costado izquierdo del mismo— dos fosas o tolvas subterráneas, cada una de ellas con un platillo dosificador, que alimentan una cinta, la cual conduce el carbón, bien a unos molinos —en el caso que se trate de tamaño superior al menudo—, o bien alimenta, mediante los dispositivos adecuados, cada una o las dos cadenas de cangilones que suben el carbón a los dos grupos de tolvas, uno para cada batería. El menudo que viene por el ferrocarril general lo hace en volquetes de 3 toneladas, que, mediante un polipasto eléctrico accionado a mano, se descarga directamente en la fosa. Los vagones de Langreo, debido a su especial dispositivo de descarga por la parte interior, permiten que puedan descargarse también directamente en la fosa, pero con objeto de activar la descarga, se simultanea el sistema de la misma de tal forma que, mientras el vagón de cabeza está encima de la fosa, mediante las grúas del parque, se descargan, en lo posible, los demás con objeto de que el intervalo de permanencia en el parque sea mínimo. El carbón que toman las grúas se apila, generalmente, aunque también puede verterse a las fosas. Los vagones de ancho normal hay que descargarlos siempre por medio de la cuchara de las grúas, lo que es operación muy lenta, pues el del fondo del vagón hay que agruparlo en montones para que puedan cogerlo las grúas. Generalmente trabaja una sola de éstas —de 50 tons. de capacidad-hora—, pero en aquellos casos en que la entrada de carbón es exageradamente elevada, pueden trabajar simultáneamente ambas, y se ayuda además la descarga con peones que palean directamente el carbón al parque.

Con este sistema de descarga y almacenamiento de carbón se comprende que no pueda haber clasificación alguna de los mismos, pues no hay, ni tolvas para el debido almacenamiento de los diversos tipos de carbones que se destilan, ni sitio en el parque para poderlos apilar convenientemente. Todo sistema de mezcla resulta imposible de realizar y se consume el carbón sin saber previamente su análisis en la inmensa mayoría de los días del año.

Se comprende, por tanto, lo difícil que ha sido el poder añadir un tanto por ciento determinado de menudos antracitosos, por lo que se limita la operación a añadir, por cada número de vagones determinado,

SMDF. - HORNO DE COK
MEZCLA DE CARBONES



un cierto número de ganchadas de la grúa, variable según la proporción teórica que se quería entrarse de menudos antracitosos en la mezcla diaria de carbones.

Todos estos inconvenientes se vieron agravados por el diferente estado de nuestras baterías. En efecto: estas baterías están constituidas por dos: una, de 23 hornos y otros dos subgrupos de 15 cada uno, ambos de iguales características, a saber hornos OTTO, totalmente de sílice, con regeneradores de sílico-alumínico, cuyas dimensiones principales son:

Altura	4.500 mm.
Ancho	450 »
Longitud	12.670 entre anclajes.
Conicidad	60 mm.
Capacidad	18.15 ton/carbón seco.
Intervalo de destilación: 20 horas.	

La batería de 23 hornos, que llamamos la batería, data del año 1930, y cuenta por tanto con 20 años de servicio, que rebasa el límite práctico de vida de una batería de coque de hornos de sílice. Además, su estado es aún peor de lo que hubiese sido normal después de un período tan largo de explotación, pues tuvo que sufrir una parada total de 9 meses, con la consiguiente contracción al enfriar y la dilatación posterior al calentarla nuevamente. Estas circunstancias han ocasionado que la estanqueidad imprescindible de las paredes del horno no tenga lugar, y pueden observarse muchos pasos de gas, humo y aire de unos canales a otros, así como entrada de aire dentro de las cámaras de combustión. El estado de las cámaras es, además, muy irregular, y hay otros muchos que presentan en las paredes ondulaciones y salientes que hacen que luego, una vez coquizado el carbón, sea prácticamente imposible sacar la torta de coque. Cualquiera entrada de aire en el horno hace que funda el carbón que se encuentra junto al paso, y, al fundir, queda adherido al suelo o la pared, lo que hace el deshornado muy difícil y lento. Del horno 15 al 23 están todos ellos restaurados, y sustituido por material nuevo aquellos sectores de pared que estaban en mal estado.

Todo ello ha obligado a llevar la destilación lo más lenta posible. El período de coquización medio de la batería es de unas 33 horas y se procura, además, no llenar los hornos al máximo e introducir en la mezcla para el carbón de esta batería menor proporción

de menudo antracitoso que en la 2.^a batería y 2.^a bis. El mejor indicador del estado de esta batería núm. 1 es el hecho de que 5 de sus hornos, los 3, 8, 9, 15 y 23, están aislados y rellenos de cascote de ladrillo refractario corriente.

Por el contrario, el estado de los 30 hornos restantes es altamente satisfactorio, y desde el año 42 no ha habido más hecho destacable que el cambio de todos los marcos de los hornos, realizado en el año 1949. El período de coquización es de 21-22 horas, totalmente normal.

Estas circunstancias motivaron que el tanto por ciento de menudo antracitoso que se ha de consumir en la 1.^a batería fuese muy inferior al de la 2.^a, si bien el total que hay que coquizar en el mes llegase hasta un 13 % del total de hulla destilada. Vistas las dificultades existentes en el parque de carbones, se comprende que todas estas condiciones sólo pudieron alcanzarse de manera aproximada.

3.—CARACTERÍSTICAS DE LOS CARBONES COQUIZADOS.

En la Tabla I hemos incluido las principales características de los carbones consumidos en baterías durante el período de pruebas, que abarca desde el mes de septiembre de 1949 hasta febrero de 1950, ambos inclusive. Vemos que los menudos de hulla de la S. M. Duro Felguera, de un contenido en volátiles comprendido entre el 33 y 34 %, son más bien hullas de gas que hullas de coque, lo que evidencia el bajo poder aglomerante que tienen todos ellos; además, el contenido en cenizas es excesivamente alto (del 10 al 12 %), y da lugar a un coque de un 15 a un 18 % de cenizas, totalmente inadmisibles para una buena marcha de los hornos altos, ya que hace subir, además, el consumo específico de coque a cifras excesivamente altas, hasta el punto de que pueda considerarse como bueno el valor de 1.100 Kgs.

Por el contrario, el carbón de «Figaredo», por su contenido en materias volátiles, y por su poder aglomerante, es una hulla típica de coque. Su adición se verificó simultáneamente a la de menudos antracitosos, si bien en escala más reducida, por lo que su influencia ha sido también de menor alcance que la de los menudos antracitosos, en las características físicas del coque.

Tabla I.—Características de los carbones

Carbones			Humedad	Cenizas	Volátiles	S total.	C fijo	Poder aglomerante
Menudos de hulla	De la S. M. D. F.	María Luisa....	9,00	10,20	34,10	1,30	55,70	17
		Carrocera	7,50	11,15	33,70	1,27	54,95	16
		Santa Bárbara...	7,80	11,90	33,50	1,20	54,60	15
		San Martín	8,20	11,70	33,30	1,20	55,00	15
		Argayón.....	8,10	10,50	33,50	1,23	56,00	19
	Ajenos	Figaredo	9,20	13,60	22,60	1,50	63,90	23
Menudos antracitosos	S. M. D. F.	Piñeres.....	7,30	34,50	9,00	1,10	64,30	No coquiza
	Ajenos	I. Asturiana....	10,00	15,20	17,00	1,27	67,80	No coquiza
		V. Herrero	8,00	14,40	13,50	1,25	72,10	No coquiza

Pero, en cambio, el tanto por ciento de cenizas es completamente prohibitivo, pues daría lugar a un coque de 20 % de cenizas.

En cuanto a los menudos antracitosos, los ajenos a la Sociedad tienen en cenizas un contenido excesivo; mucho más el de «Piñeres», lo que hace que su empleo en la coquización sea lo más restringido posible. Ultimamente llegaron también «Finos de Piñeres» con un contenido en humedad y cenizas del 16 y del 14,7 %, respectivamente. El carácter distintivo fundamental lo da la proporción de materias volátiles, del 9 al 17 % y, como consecuencia, el poder aglomerante negativo. En esta consideración se basa el empleo de estos carbones para mejorar la calidad física de un coque, que, por provenir de hullas muy altas en volátiles, carece de las condiciones debidas de dureza y fragilidad.

El contenido en humedad es alto, aunque no excesivo, pues, si bien sería más conveniente un valor próximo al 7 %, nuestras baterías pueden marchar normalmente hasta con un 10 %. Como veremos en la Tabla II, sólo los «schlamms» de «San Martín» y «Piñeres» vienen a nuestro parque de carbones con humedades excesivas, lo que, además, dificulta enormemente la descarga de los volquetes, por quedarse adherida la carga.

También es de vital importancia la granulometría

del coque, ya que las partículas superiores a los 10 mm., al ser sometidas al proceso de coquización, no hinchan, y sale la masa flúida hacia la superficie, donde permanece, y no se realiza la unión con las partículas colindantes, para originar trozos de mayores dimensiones. Prosíguese este proceso, sucesivamente, hasta producir la llamada «torta de coque» que, luego, al romper, da una proporción elevada de trozos gruesos (mayores de 40 mm.), que son los únicos aptos para la metalurgia en general, y, especialmente, para el horno alto.

Es interesante destacar, según la granulometría de las hullas, la variación que experimentan los contenidos en cenizas y volátiles de las diferentes fracciones. Las figuras 1, 2 y 3 ilustran ampliamente sobre este extremo. Como norma constante y general se observa que el tanto por ciento de cenizas aumenta progresivamente para las fracciones menores, en la escala siguiente: mayor de 5 mm.; 5-2 mm.; 2-1 mm.; 1,05 mm.; menor 0,5 mm. Especialmente, lo menor de 0,5 mm. contiene el mayor porcentaje de cenizas, y de ahí la importancia de que los menudos vengán bien lavados; en este aspecto los menudos de Duro-Felguera presentan un lavado mucho más avanzado y profundo —sin que por eso sea el óptimo— que los menudos antracitosos y de «Figaredo», donde la fracción menor de 0,5 mm. llega incluso a ser la más importante.

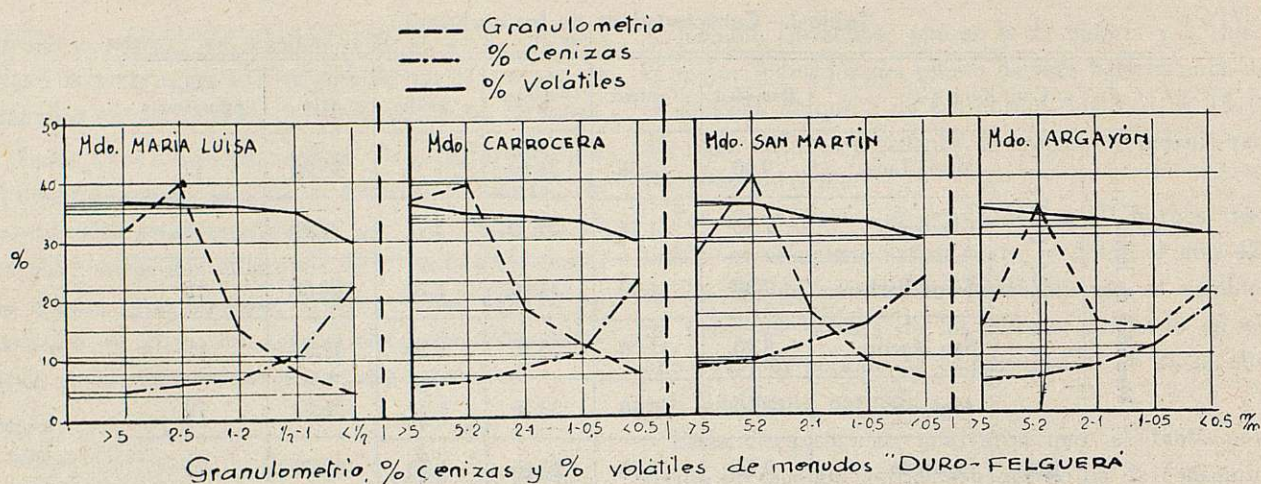


Fig. 1

La fig. 4 nos da el porcentaje que cada fracción incorpora al total de cenizas del menudo, para un carbón de Duro-Felguera («María Luisa»), uno antracitoso («Industrial Asturiana») y el de «Figaredo».

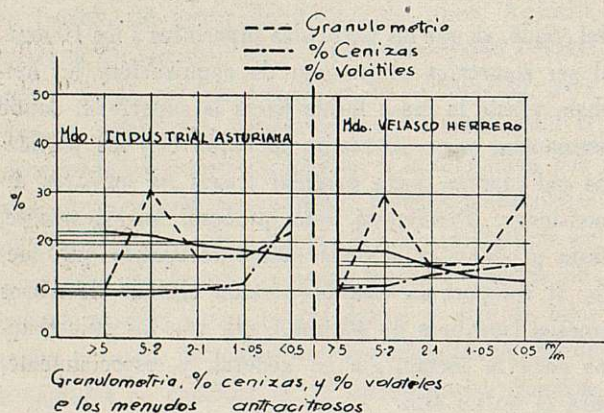


Fig. 2

Resalta indudablemente que, excepto en el carbón de la Sociedad, la máxima aportación de cenizas corresponde a lo menor 0,5 mm., hasta el punto de que, para el «Industrial Asturiana», representa casi el 50 % del total. De aquí se deduce la necesidad de eliminar en lo posible los finos en los menudos antracitosos que se consuman en pruebas sucesivas.

También, como carácter general, disminuye el contenido en volátiles a medida que se desciende en la escala de granulometría, si bien esta variación es muy lenta, sobre todo en el menudo de «Figaredo».

Como dato general de la marcha de las baterías en lo relativo a las características de los carbones coqueados en las mismas, damos a continuación, en la Ta-

bla II, las medias mensuales de cenizas y humedad de los diferentes carbones y de la mezcla destilada, así como el promedio total durante el año 1949.

Los carbones de «María Luisa», «Carrocera», «Argayón», «Santa Bárbara» y «San Martín», son de características análogas, tanto en cenizas como en humedad, y su oscilación anual no demasiado elevada.

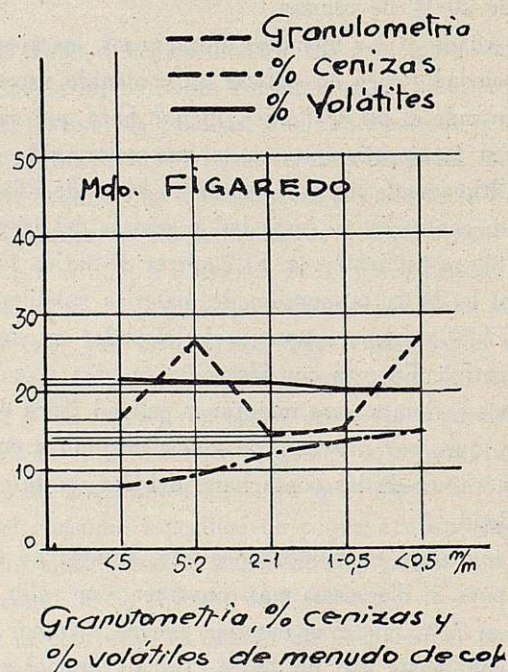


Fig. 3

El menudo de «Piñeres» vino siempre con un contenido en cenizas intolerable, por lo que añadió siempre en muy débil proporción. Los «schlamms» han tenido siempre un contenido exagerado en humedad, lo que

Tabla II.—Características de los carbones (cenizas y humedad) coquizados en baterías en el año 1949

Carbones		María Luisa	Carro-cera	Arga-yón	Santa Bárbara	San Martín	Piñeres	Schl. San Martín	Schl. Piñeres	Ind. Asturiana	Figa-redo	Velasco Herrero	Granza Santa Bárbara	Granza María Luisa	Granza Arga-yón	Mezcla
Meses																
Enero	C H	10,14 8,98	14,00 7,87	11,25 8,23	11,86 7,76	— —	32,03 7,70	16,50 18,80	— —	— —	— —	— —	10,05 4,48	— —	8,00 3,50	11,88 7,52
Febrero	C H	11,33 9,05	11,75 8,30	10,47 8,10	11,24 7,38	10,87 9,93	34,70 5,68	12,90 20,85	— —	— —	— —	— —	7,00 4,30	— —	8,27 3,10	11,68 9,08
Marzo	C H	10,24 8,48	11,86 7,14	10,05 7,70	12,60 6,85	12,44 8,75	38,73 8,23	13,61 21,73	— —	— —	— —	— —	8,88 3,56	9,25 4,55	10,40 4,00	12,21 8,41
Abril	C H	10,32 8,51	11,41 7,28	11,13 6,05	12,55 7,15	11,48 8,91	34,21 7,12	13,81 21,09	— —	— —	— —	— —	— —	— —	9,15 2,40	12,36 7,58
Mayo	C H	10,84 8,69	11,59 6,57	11,02 6,41	12,15 6,81	11 10 8 35	36,06 26,06	13,80 19,96	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	12,20 8,35
Junio	C H	11,51 8,24	12,25 6,40	10,75 7,01	12,03 6,33	11,72 8,71	36,70 5,60	13,10 22,80	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —	12,28 7,70
Julio	C H	11,65 8,69	10,88 7,06	10,60 7,25	12,64 6,65	10,99 9,26	38,90 4,66	13,00 8,20	— —	16,66 7,36	— —	— —	— —	— —	— —	12,14 7,15
Agosto	C H	11,96 9,88	12,97 7,44	12,45 7,51	12 64 7 23	12,00 10,00	38,82 7,06	13,75 21,15	— —	15 01 5,01	— —	— —	— —	— —	— —	12,94 7,84
Septiembre	C H	11,46 9,40	11,32 7,13	13,05 7,36	13,55 6 41	13,29 10,11	40,35 6,05	14,70 19,65	— —	14,93 8,74	— —	— —	— —	— —	— —	12,65 8,90
Octubre	C H	10,57 9,64	10 16 7,20	12 60 7,61	12,46 8,01	12,63 8,26	— —	12,86 19,60	— —	15,65 9,10	15,45 7,87	16,22 7,86	— —	— —	— —	12,45 9,07
Noviembre	C H	9,65 8,82	10,24 7,80	11,94 8,92	11,40 9,20	12,92 10,89	34,45 17,55	14,00 20,50	16,69 17,80	15,41 9,60	15,02 8,99	15,17 8,15	— —	— —	— —	12,43 9,26
Diciembre	C H	10,19 9,75	10,14 8,65	11,22 8,51	11,66 8,96	12,15 9,00	34,13 8,43	18,41 15,00	16,30 18,10	15,08 10,72	13,91 10,06	12,50 10,14	— —	— —	— —	11,47 10,31
Media anual	C H	10,89 8,96	10,89 7,40	11,39 7,54	12,17 7 39	11,96 9,28	34,48 7,29	14,20 19,11	16,49 17,95	15,39 9,02	14,79 8,97	14,56 8,73	8,64 4,11	9,75 4,55	8,95 3,27	12,22 8 43

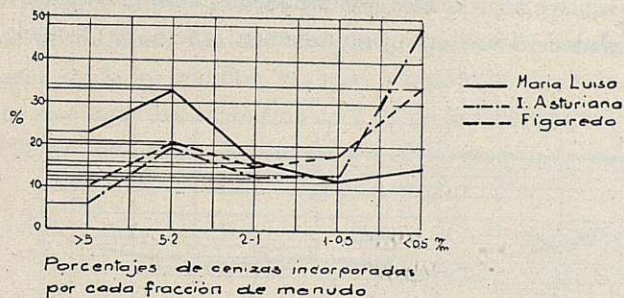


Fig. 4

dificulta considerablemente la descarga, como ya se ha indicado. De los menudos antracitosos de «Industrial Asturiana» y «Velasco Herrero» hemos dado ya suficiente información, que no hace sino confirmar los datos expuestos en la Tabla II. Las granzas, previo su molido, sólo se consumieron en los primeros meses del año, y mientras hubo entradas.

En cuanto a la media de cenizas de la mezcla de carbones, oscila entre los valores extremos de 11,68 y 12,94, con valor medio de 12,22 sumamente elevado. Los gráficos de la fig. 5 dan idea de estas varia-

ciones de la media de cenizas de la mezcla, así como de la de humedad.

4.—CARBÓN COQUIZADO MENSUALMENTE.

Aunque la adición de menudo antracitoso en escala mayor de la usual empezó en el mes de septiembre

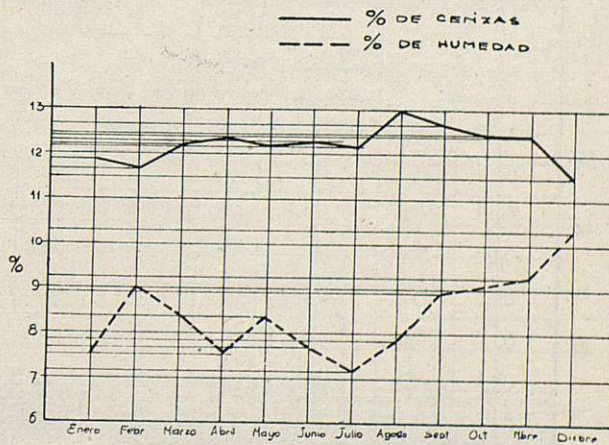


Fig. 5

Tabla III.—Consumo mensual de carbones

Año	Mes	Menudo corriente		Menudo antracitoso		Granza		Figaredo		«Schlamms»		TOTAL
		Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas
1949	Mayo	24.647	91,75	1.400	5,21	447	1,66	—	—	369	1,38	26.864
»	Junio	24.599	93,06	1.220	4,62	35	0,13	—	—	552	2,19	26.406
»	Julio	24.555	94,60	1.187	4,60	35	0,12	—	—	180	0,70	25.956
»	Agosto	25.436	94,80	1.146	4,26	—	—	—	—	251	0,94	26.830
»	Septiembre	21.401	88,50	2.381	9,84	—	—	—	—	400	2,81	24.182
»	Octubre	21.785	81,00	2.408	9,00	—	—	2.029	7,05	530	2,50	26.753
»	Noviembre . . .	19.171	75,70	3.079	12,00	—	—	2.008	7,09	1.123	4,40	25.381
»	Diciembre . . .	20.849	78,30	3.051	11,50	—	—	1.592	5,98	1.125	4,22	26.617
1950	Enero	20.923	76,80	3.686	13,50	—	—	2.033	7,40	645	2,30	27.287
»	Febrero	20.780	79,95	2.584	11,00	—	—	1.720	6,65	635	2,40	25.719

de 1949, damos, en la Tabla III, las toneladas coquizadas a partir del mes de mayo, con objeto de hacer resaltar en dicha Tabla y en las gráficas correspondientes las diversas proporciones de los diferentes carbones coquizados hasta el mes de febrero, inclusive. En el menudo antracitoso van incluidos los de «Piñeres», «Industrial Asturiana» y «Velasco Herrero», que se apilaron juntos en el parque de carbones hasta dis-

poner de una existencia inicial de unas 1.000 toneladas.

El porcentaje empleado oscila del 9 al 13 %. Este porcentaje se refiere al total de la hulla coquizada, ya que por baterías ha sido distinto, por no permitir el mal estado de la 1.^a batería un porcentaje mayor al 5 % teórico, si bien prácticamente, ante la imposibilidad de llevar una comprobación exacta, ha oscilado

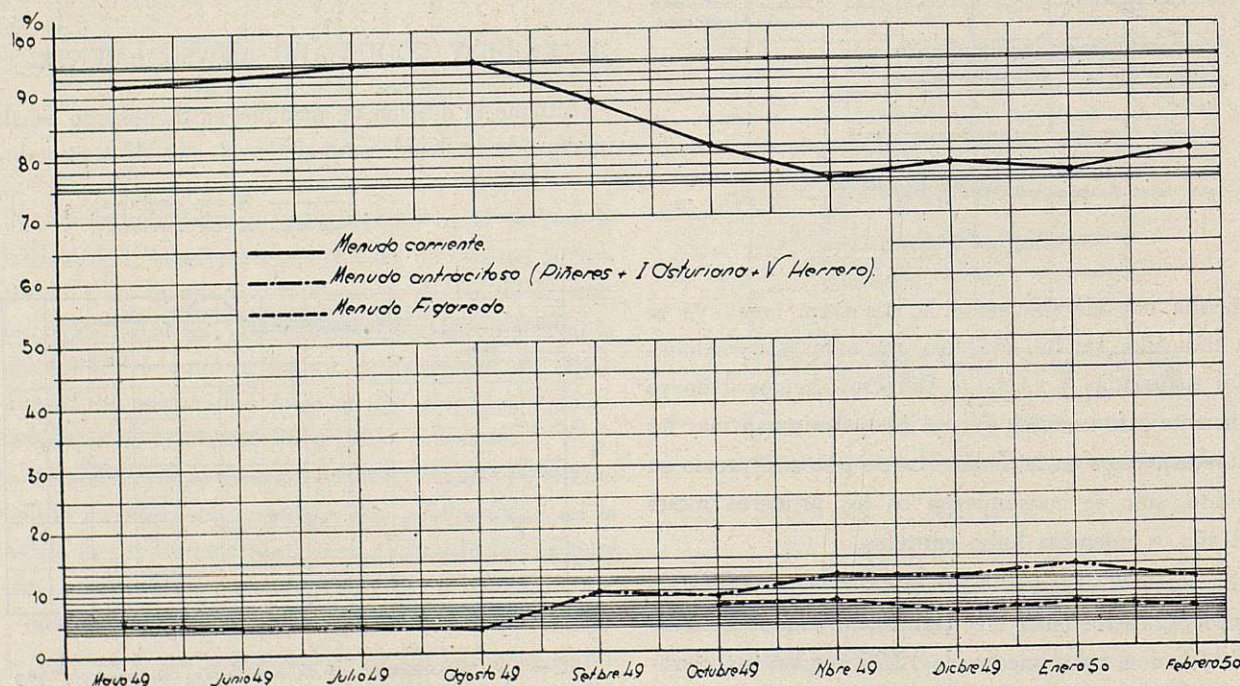


Fig. 6.—Diferentes porcentajes de menudos coquizados.

entre el 7 y el 4 %. El porcentaje en las baterías 2.^a y 2.^a bis ha variado entre el 10 y 20 %, ya que el buen estado de la misma lo ha permitido. Los gráficos de la fig. 6 dan idea de estas variaciones, incluida la del menudo de «Figaredo». En lo posible se ha procurado mantener en las baterías el ritmo de 46-48 hornos diarios, a expensas siempre de la demanda de coque grueso para nuestros hornos altos y para el mercado nacional.

5.—RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ADICIÓN DE MENUDOS ANTRACITOSOS.

Dos son los factores que se han visto influidos con estas adiciones: 1.º La fabricación de coque grueso, y 2.º La dureza del coque.

5.1.—*Fabricación de coque.*—La instalación de clasificación de coque de la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera funciona de la manera siguiente: El coque apagado en la «torre» es descargado por el vagón de apagado en una amplia rampa o «plaza», la cual alimenta, por medio de compuertas accionadas a mano, una cinta transportadora de cangilones que conduce el coque «todo-uno» al «rollen-rost», constituido por rodillos de excéntricas de 60 mm. de paso. El coque mayor 60 mm., llamado «coque grueso», después de pasar sobre los rodillos, va, bien a una tolva desde la que se cargan las vagonetas de 2 m³ de capacidad para el horno alto núm. 2, bien a una cinta para la carga

de vagones Norte o Langreo. El coque que ha pasado a través de los rodillos clasificadores va a un carrillo de movimiento oscilante, que, a su vez, alimenta una cadena de cangilones que eleva el coque menor de 60 mm. hasta una criba clasificadora de movimientos transversales que, sucesivamente, separa las fracciones siguientes:

Menor 10 mm. o «polvillo»
10-40 mm. o «granza»
40-60 » o «galleta»

cada una de las cuales cae a su tolva correspondiente, de donde se carga directamente en vagones de ancho normal o de Langreo.

La Tabla IV da las diferentes producciones de coque obtenido desde mayo de 1949 hasta febrero del 50, clasificadas según los diferentes tamaños. Puede observarse, por la simple inspección del cuadro, que, a lo largo de los diez meses, el porcentaje de «polvillo» se mantiene sensiblemente constante con ligera disminución al final y varía un poco la «granza». Los cambios más sensibles que han motivado la adición de menudo antracitoso han tenido lugar en las proporciones de coque «grueso» y «galleta», donde el aumento del primero a costa del segundo se destaca claramente a partir del mes de septiembre, en el que comienzan las pruebas. Este aumento llega a ser hasta del 15 %, que es ya una cifra apreciable por ser casi un 25 % de la producción primitiva de coque «grueso». En todas estas proporciones influye indudablemente el estado

Tabla IV.—Producciones de coque en toneladas

Año	Meses	Producción total	Grueso mayor 60 m/m		Galleta 40-60 m/m		Granza 10-40 m/m		Polvillo menor 10 m/m	
			Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%	Toneladas	%
1949	Mayo	18.128	11 495	63,41	3.306	18,23	2.239	12,35	1.088	6,01
»	Junio	17.834	11.190	62,75	3.234	18,13	2.397	13,44	1.013	5,68
»	Julio... ..	17.509	10.967	62,64	3.739	21,35	1.840	10,51	963	5,50
»	Agosto... ..	18.112	11.540	63,70	3.864	21,30	1.693	9,40	1.015	5,60
»	Septiembre...	16.314	11.881	72,90	1.878	11,30	1.720	10,60	835	5,20
»	Octubre.....	18.035	13.023	72,20	2.461	13,70	1.628	8,90	923	5,20
»	Noviembre....	17.115	12.977	76,10	2.132	12,30	1.280	7,40	726	4,20
»	Diciembre.....	17.959	12 930	72,00	2.629	14,65	1.481	8,25	919	5,10
1950	Enero	18.355	13.692	74,50	2.246	12,30	1.628	8,86	789	4,34
»	Febrero	17.341	13 310	76,80	2.058	11,80	1.352	7,80	621	3,60

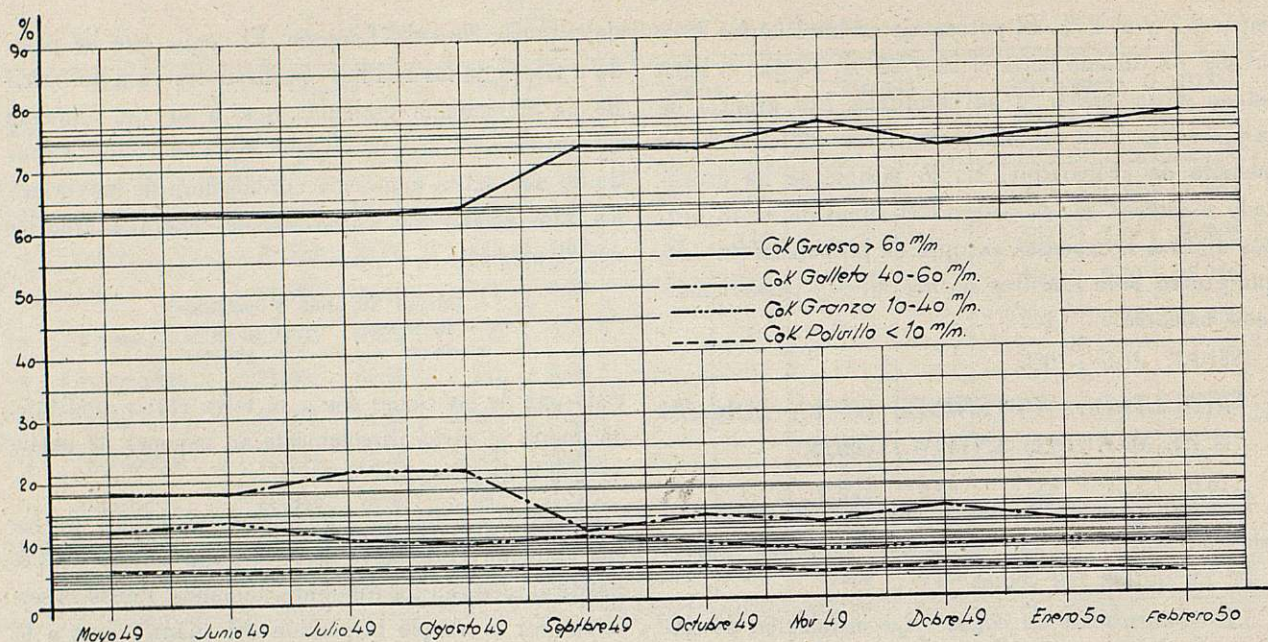


Fig. 7.—Porcentajes de los diferentes tamaños de coque.

de los rodillos, pues, a pesar de ser de acero al manganeso, es tan grande el poder abrasivo del coque, que las excéntricas se desgastan considerablemente a los pocos meses de uso continuo, y es preciso cambiar a menudo alguno de estos rodillos. Se aprovechan para ello paradas prolongadas —2 a 4 horas— de las baterías. Naturalmente, en el caso de haber varios ro-

dillos desgastados, disminuirá la proporción de coque grueso obtenido en el mes, a costa principalmente de un aumento en el coque 40-60 mm.

La fig. 7 representa los diferentes tantos por ciento de los diversos tamaños obtenidos durante los 10 meses de la tabla IV.

En la fig. 8 se representa conjuntamente la varia-

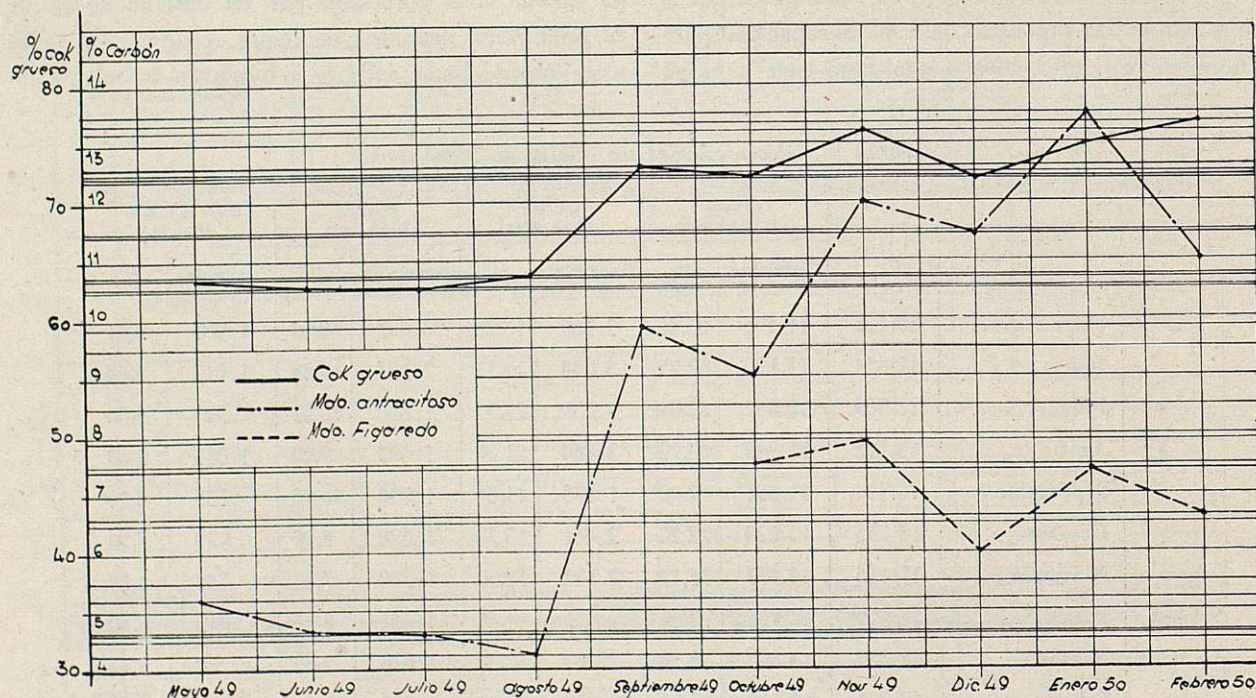


Fig. 8.—Variación de la producción de coque grueso y menudos antracitosos y de «Figaredo» coquizados.

ción del tanto por ciento de coque grueso obtenido con la de menudo antracitoso consumido. Se indica también el menudo de «Figaredo» coquizado. La marcha general de las curvas es concordante, especialmente la subida notable que experimenta el coque grueso a partir del mes de septiembre. En el de enero, la subida del menudo antracitoso al 13,5 % no se vió seguida de un ascenso equivalente en el porcentaje de coque «grueso». Este hecho puede explicarse por el consumo de menudo antracitoso en ambas baterías, conforme se indica en el cuadro siguiente:

	Carbón total coquizado	Menudo antracitoso. Toneladas	%
1. ^a batería	7.906	368	4,6
2. ^a y 2. ^a bis baterías...	19.381	3.318	17

o sea que las segundas baterías trabajaron con porcentaje muy alto y se llegó algunos días incluso al 20 %; precisamente en estos días se observó que el aspecto físico exterior del coque había empeorado y se notó, en la misma rampa de apagado, mayor proporción de menudo de coque que de ordinario. Este resultado práctico de taller, unido a los resultados obtenidos en la clasificación del coque, indican que el 20 % de adición ha de considerarse como límite máximo al que no debe llegarse.

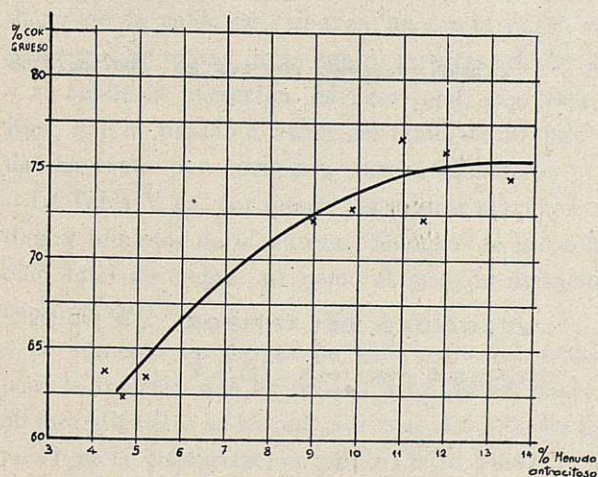


Fig. 9.—Variación del % de coque grueso con el % de menudo antracitoso.

Finalmente, al llevar sobre un sistema de coordenadas que tenga, como abscisas, los % de menudos antracitosos y, como ordenadas, los tantos por ciento de coque «grueso» obtenidos para cada proporción de los primeros, de acuerdo con las Tablas III y IV, se ha

trazado la curva de la fig. 9, que representa el aumento de coque «grueso» para tantos por ciento crecientes de menudos antracitosos, y que es la primera conclusión a que hemos llegado. *Es indudable que,*

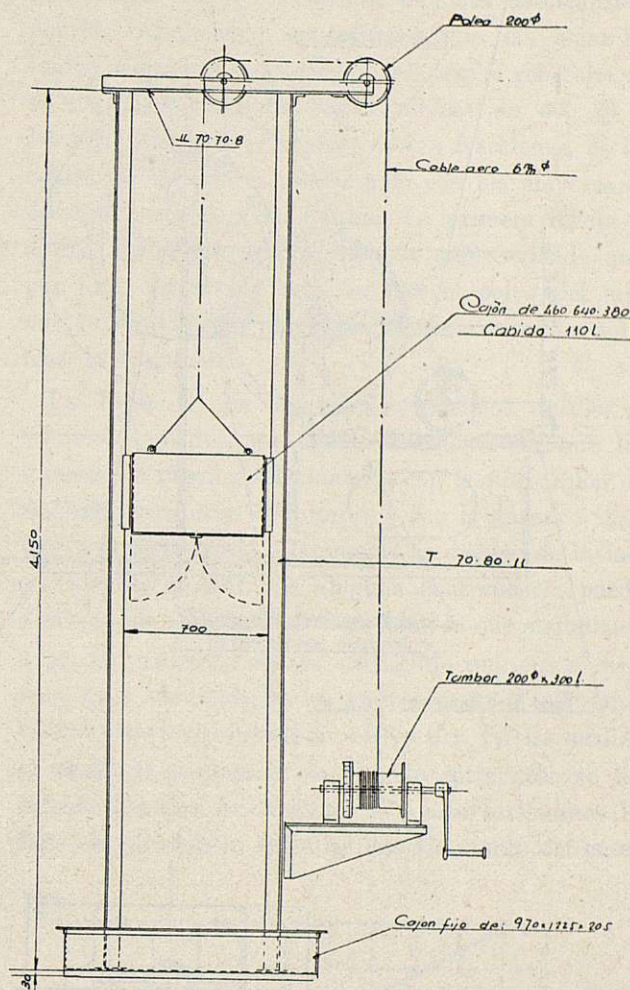


Fig. 10 (a).—Aparato «Shatter-Test» para determinar la dureza del coque.

al pasar del 5 al 11 % de menudos no coquizables, la proporción de coque mayor de 60 mm. aumenta en un 20 % (del 63 al 76 %) como término medio.

5.2.—Dureza del coque.—Las determinaciones de dureza se hacen por el método «Shatter-test» o ensayo de caída, y también en el aparato «M. I. C. U. M.». Este último empezó a funcionar precisamente en el mes de septiembre de 1949, por lo que sus resultados no permiten deducir consecuencia alguna respecto al problema estudiado, en su aspecto general, si bien, por ser distinta la proporción de carbón seco consumido en las baterías 1.^a y 2.^a - 2.^a bis, se han estable-

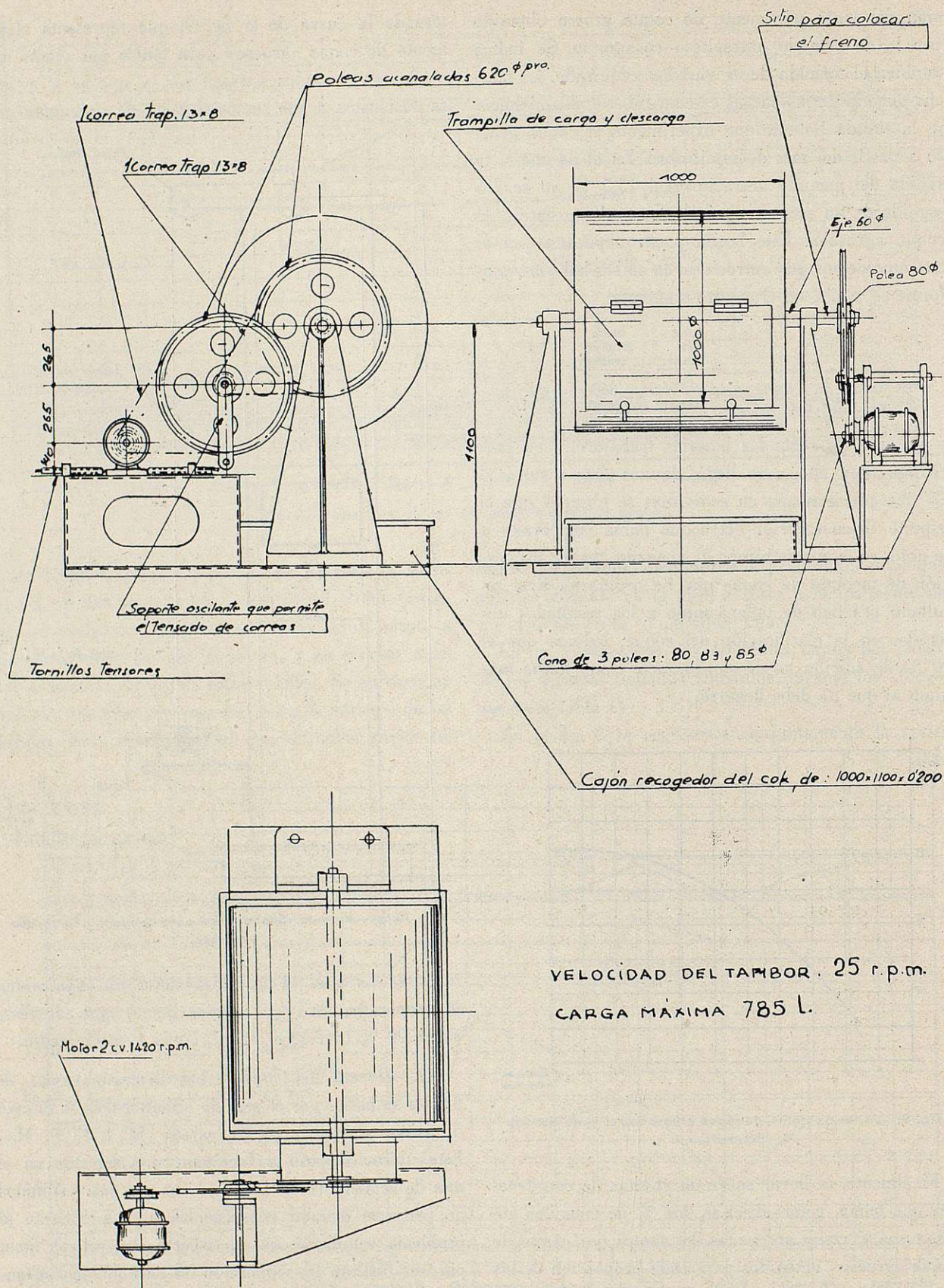


Fig. 10 (b).—Aparato «MICUM» para probar la dureza del coque.

cido los correspondientes diagramas de variaciones del «MICUM» mayor 40 mm. y «MICUM» menor 10 mm. con relación al menudo antracitoso consumido diariamente en cada una de ellas.

La dureza «Shatter» se realiza en el sencillo aparato de la fig. 10 (a). El cajón se llena con 20 Kgs. de

Tabla V.—Valores de la dureza «Shatter»

Año	MESES	Dureza «Shatter»			% menudo antracitoso
		Máxima	Media	Mínima	
1949	Mayo	12,00	13,92	16,80	5,21
»	Junio	9,00	14,00	18,00	4,62
»	Julio	8,50	11,20	15,00	4,00
»	Agosto	8,80	11,68	16,80	4,26
»	Septiembre	8,00	9,88	13,60	9,84
»	Octubre	6,40	9,07	18,80	9,00
»	Noviembre	4,80	6,72	9,68	12,00
»	Diciembre	4,80	6,12	8,80	11,05
1950	Enero	3,20	5,41	8,00	13,05
»	Febrero	4,00	6,20	10,04	11,00

coque grueso, escogido a mano en la cinta de clasificación y, una vez elevado, se abre el fondo y se deja caer sobre la placa de fundición de la base. El producto de la caída se criba en un tamiz de 50 mm. diámetro. Se toman otras cuatro muestras de 20 Kgs. y se repite la operación. El peso total, expresado en Kgs., que ha pasado a través del tamiz de 50 mm. nos da, en tanto por ciento, la dureza «Shatter».

La Tabla V da, por meses, los valores máximos, medios y mínimos de la dureza «Shatter» de la producción total de coque, así como el menudo antracitoso consumido.

El aumento de dureza ha sido realmente notable, pues la fracción que ha pasado a través del tamiz de 50 mm. diámetro se ha reducido casi al 50 %. La figura 11 es la interpretación gráfica de la Tabla V, que refleja claramente el aumento de dureza obtenido con la adición de carbones secos, con lo cual la segunda conclusión alcanzada es que *al subir la adición de menudo antracitoso del 5 al 11 % en la mezcla de carbones, «el ensayo de caída» o dureza «Shatter» aumenta hasta un 50 %.*

Como ya hemos indicado, otra determinación de la dureza se hace mediante el ensayo «MICUM» al «trom-

mel», consistente en introducir una carga determinada —50 Kgs.— de coque «grueso» en un tambor giratorio, como el de la fig. 10 (b), y someter la carga a rotación durante 4 minutos, con velocidad de 25 vueltas por minuto. El coque, una vez desmenuzado por las rotaciones y las caídas a que dan lugar los cuatro angulares colocados a 90° según generatrices, se clasifica en tamaños según tamices de 40, 20 y 10 mm. diámetro, y produce cuatro fracciones, de las cuales las de interés metalúrgico son las mayores de 40 mm. y menores de 10 mm. La primera refleja la dureza del coque y la segunda la «abrasividad» que, por estar en íntima relación con el polvo del mismo, refleja también en coques blandos como los nuestros, la fragilidad.

La Tabla VI da los valores máximos, medios y mínimos tomados por ambas fracciones durante los 6 meses de prueba, relacionados con la proporción de menudo antracitoso coquizado, y con la dureza «Shatter» correspondiente. Claramente se deduce de la inspección del cuadro que ninguna consecuencia puede derivarse de estas medias mensuales, lo que atribuimos a que las cifras del ensayo «MICUM» son, por sí mismas, muy variables de un ensayo a otro, realizados incluso consecutivamente el mismo día. En las medias generales la proporción de menudo antracitoso no ha sufrido grandes oscilaciones, y a esto atribuimos la falta de correlación entre las dos fracciones del ensa-

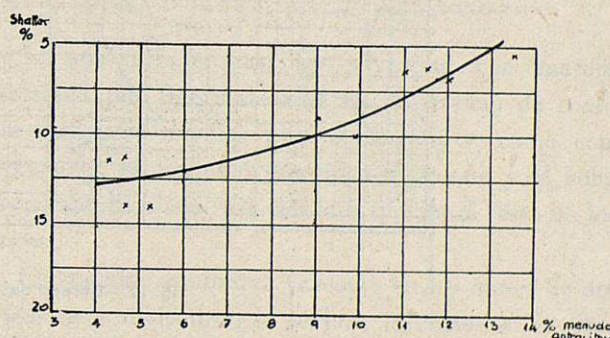


Fig. 11.—Variación de la dureza «Shatter» con el % de menudo antracitoso.

yo «MICUM», la dureza «Shatter» y el porcentaje de carbón seco. Por el contrario, tomando diariamente para la batería núm. 1 y para las 2.ª y 2.ª bis, los valores de ambos tipos de dureza y la proporción de menudo antracitoso coquizado en cada una de ellas, al llevar el conjunto de todos estos datos a la fig. 12,

Tabla VI.—Valores de la dureza «MICUM»

Año	Meses	Dureza «MICUM»						Dureza «Shatter»	% menudo antracitoso
		Menor 10 m/m			Mayor 40 m/m				
		Máxima	Media	Mínima	Máxima	Media	Mínima		
1949	Septiembre.....	10	16,36	26	—	—	—	9,88	9,84
»	Octubre... ..	11	14,30	17	65	54	46	9,07	9,00
»	Noviembre.....	6	15,00	23	69	54	40	6,72	12,00
»	Diciembre.. ..	12	15,00	22	62	52	42	6,12	11,05
1950	Enero.....	10	15,50	19	66	62	41	5,41	13,05
»	Febrero	10	12,80	17	69	60	45	6,20	11,00

puede observarse que el menor consumo de carbón antracitoso en la 1.^a batería, lleva consigo, en términos generales, mayor proporción en la fracción menor 10 mm. y menor proporción en la fracción mayor 40 milímetros, o sea, en definitiva, peores características

el horno alto; mientras los menudos no vengan mejor lavados es imposible obtener un coque de menos de 15 % de cenizas, pero lo que sí podía intentarse era darle mayor dureza, lo que, según los datos que anteceden, se ha conseguido. Pero, en definitiva, es

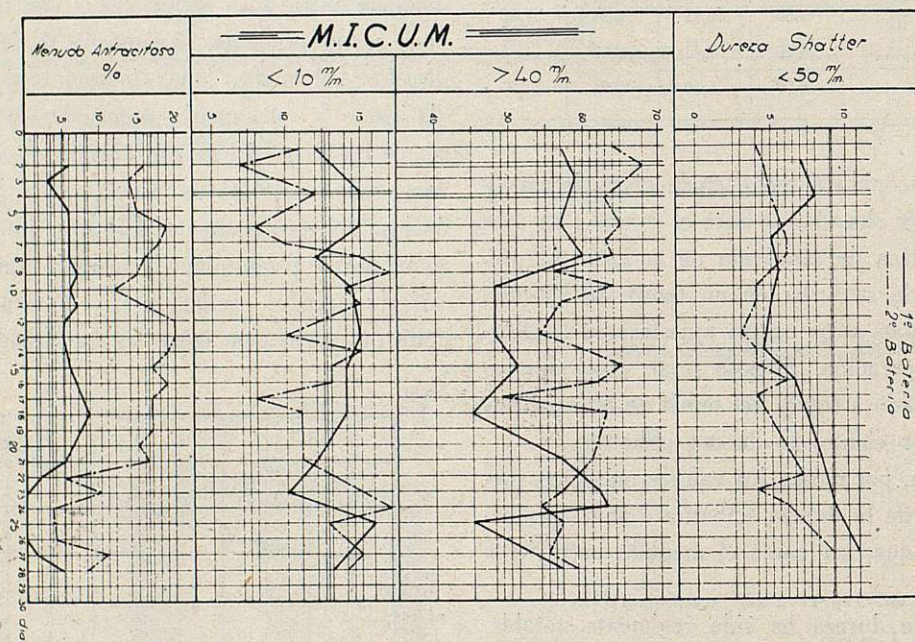


Fig. 12.—Dureza del coque en febrero de 1950.

del coque en cuanto a dureza y fragilidad. Es más clara la influencia en la fracción mayor de 40 mm.

6.—COMPORTAMIENTO DEL COQUE EN EL HORNO ALTO.

Las pruebas realizadas con objeto de aumentar la dureza del coque, venían impuestas por la necesidad de darle las mínimas condiciones para su empleo en

el horno alto quien ha de decidir si los resultados de las pruebas de dureza se ajustan a la realidad y si el coque ha mejorado realmente de calidad.

La calidad del coque es, indudablemente, factor esencial en la marcha de un horno alto, pero también lo son la preparación del lecho de fusión, la constancia de mezclado y de tipo de lingote que se ha de obtener. Si, simultáneamente con una mala calidad en el coque, nos encontramos con un lecho de fusión

donde los minerales no han sufrido preparación mecánica alguna, al venir a menudo los minerales en tamaños hasta de 300-400 mm. algunos de ellos, otros con gran proporción de finos y otros con tal contenido en humedad que impiden el descenso de los mismos en las tolvas de carga; si la caliza se suministra frecuentemente en tamaños tan grandes que provoca incluso el acunamiento de las campanas del tragante y si, finalmente, el servicio de conos de escoria y mesillas para la carga de lingote es irregular y obliga a continuos acortamientos de marcha, se comprende que poco puede verse el efecto que cause en la marcha de un horno alto la mejora de un solo factor, como es la dureza del coque.

En nuestro caso, todas estas dificultades han tenido y tienen lugar. Incluso el suministro de minerales

que en el horno alto núm. 3 —que estuvo en campaña de ferromanganeso y que, luego, ha habido que pararlo para reparación de parte del refractario— se dificultaba la carga del coque en el «skip» por cargarse las bocas de las tolvas de carga, a causa de lo crecido y homogéneo que llegaba el coque.

Respecto a la marcha del horno, la Tabla VII nos da las diversas características de la misma, y se entiende por «coeficiente de agarre» la relación entre la presión del viento expresada en gramos y el volumen soplado en metros cúbicos por minuto, y por «volumen específico», el número de metros cúbicos consumidos por Kg. de coque. Las cifras de producción diaria, soplado, coeficiente de agarre y presión de viento relativas a los meses de noviembre y diciembre son muy bajas, debido a que en ese período de tiempo

Tabla VII.—Cuadro de marcha del horno alto núm. 2

Año	Meses	Producción en toneladas	Producción toneladas día	Consumo coque en toneladas	Consumo específico	Volumen soplado m ³ /min.	Presión viento en Ate.	Coeficiente agarre	Volumen específico
1949	Septiembre.....	7.332	244	8.421	1.140	641	1,31	2,05	3,72
»	Octubre.....	8.198	264	8.618	1.048	628	1,25	2,00	3,41
»	Noviembre.....	6.939	231	7.975	1.135	618	1,07	1,69	3,84
»	Diciembre.....	7.255	236	8.454	1.155	584	0,98	1,66	3,66
1950	Enero.....	8.649	281	8.972	1.028	654	1,12	1,72	3,35
»	Febrero.....	8.770	292	8.887	1.087	666	1,19	1,78	3,23

es altamente irregular, y se da el caso de cambiar hasta ¡14 veces! de lecho de fusión en 4 días y consumirse incluso mineral sin analizar, o con un adelanto del mismo a base de ganga, hierro y humedad.

Los datos que vamos a estudiar se refieren a nuestro horno alto núm. 2, que precisamente comenzó su segunda campaña en julio de 1949; y dos meses después empezó a consumirse el coque con adición de menudo antracitoso. No puede, por tanto, establecerse un cuadro comparativo de marcha del horno con coque corriente y especial, por así llamarlo, ya que los dos primeros meses no cabe considerarlos por no haberse normalizado hasta septiembre la marcha del horno.

Un hecho indudable ha sido el mejor aspecto que presentaba el coque, de tamaño más uniforme que lo habitual y bastante más crecido, hasta el punto de

hubo que trabajar casi continuamente con marcha acortada por irregularidades en el servicio de conos de escoria y mesillas para el lingote, y, como consecuencia, el consumo específico de coque y el volumen específico son más elevados que en el resto de los meses.

Claramente se observa (excepto en los meses de noviembre y diciembre) la mejora creciente en la producción y marcha del horno, lo que se evidencia por todos los factores de la Tabla. Es de notar la mejora de la presión de viento y del «coeficiente de agarre», ya que con coque de mala calidad y blando llega éste a los depósitos con proporción elevada de polvillo que hace de aglutinante de la carga ocasionando «agarres» de la misma y presión muy elevada del viento (hasta 1,5 Ate.), con la consiguiente disminución de viento realmente introducido en el hor-

no. Se ha observado que, siempre que el coeficiente es próximo a 2,20, tienen lugar estas anomalías. También el volumen específico muestra tendencia a la disminución, siempre inferior a 4, que es el mejor índice del buen comportamiento del coque.

En definitiva, *el comportamiento del coque obtenido con adición elevada de menudos antracitosos o la mezcla de carbones ha sido satisfactorio, de modo que marchaba el horno holgadamente, con presión de viento y volumen específico bajo y sin "agarres" en la carga.* Será preciso observar la marcha del horno en lo sucesivo y sin adición de carbón seco, para llegar a conclusiones definitivas, aunque las ya indicadas señalan un resultado satisfactorio, así como la mínima proporción de coladas azufrosas obtenidas en estos meses de marcha.

* * *

Como resumen de estas pruebas realizadas con el fin de aumentar la dureza del coque metalúrgico me-

dante la adición a la mezcla de carbones de carbón seco en la proporción aproximada del 11 %, podemos decir:

- 1.º *Se observa un aumento del 20 % en la producción de coque mayor de 60 mm.*
- 2.º *El ensayo de caída o dureza «Shatter» mejora notablemente (hasta un 50 % en los casos más favorables). Al pasar del 5 al 10 % de menudos antracitosos, el ensayo M. I. C. U. M. revela un aumento de la fracción mayor de 40 mm. (dureza) y una disminución de la fracción menor 10 mm. (abrasividad).*
- 3.º *La marcha del horno alto núm. 2 ha sido buena, con producción creciente, baja presión de viento, volumen específico bajo y coeficiente de agarre aceptable.*
- 4.º *Es indispensable continuar con las pruebas iniciadas para llegar a conclusiones definitivas, confirmatorias o no, de los resultados alcanzados hasta hoy.*

Sigue el texto del trabajo núm. 159

N.º 159. - Contribución al estudio de lavado de carbones por "rheolavadores"

Autores: D. LEÓN LÓPEZ SMEETZ y D. JOSÉ REYNA LANDECHO

Ingenieros de Minas

¿Hay algún sistema de lavado de carbones que sea mejor que los demás?

El lavado de carbones, como se sabe, consiste en separar por densidades los distintos productos que constituyen el carbón bruto de mina. De los diversos procedimientos que se emplean, el mejor será aquél que permita realizar esta separación de la manera más perfecta y económica posible.

Es evidente que cualquier sistema permitirá, mediante combinaciones de los dispositivos correspondientes, adaptarlos a cada caso particular, siempre que estas combinaciones no conduzcan a gastos y complicaciones exageradas.

Desde este punto de vista, el sistema de «rheolavadores» ha probado ya durante medio siglo que se adapta perfectamente a todos los problemas de lavados, sin tener que considerar si el carbón que se ha de lavar es más o menos limpio, si es fácil o difícil, debido a la menor o mayor proporción de partículas de densidad intermedia; que tenga más o menos polvo; que esté más o menos humedo; que tenga o no pizarras planas; que esté compuesto de partículas de alta

o baja densidad; que sea antracitoso o graso o, por último, que las condiciones del mercado sean más o menos exigentes.

Si se aplica el «rheolavador» se resuelven todos estos problemas con buen éxito; se resuelven, también, las dificultades, ya conocidas, del tratamiento de los «schlamms» y se extrae un producto de calidad y valor comercial muy digno de tener en consideración.

Permiten, además, el lavado del carbón entre 0 y 120 mm., lo que reduce sensiblemente el precio de la clasificación a mano, lo que, como es sabido, resulta difícil y costoso entre las medidas de 60 y 120 milímetros.

El «rheolavador», si se desea, o bien porque lo impone muchas veces la necesidad de lavar a muy bajos porcentajes de cenizas, puede separar un producto de segunda calidad, llamado «mixtos», de valor comercial; si no se tuviese dónde emplear estos mixtos, deben ser molidos y relavados en mezcla con el carbón bruto, con lo que se consigue la mayor eficacia en el lavado.

CONSIDERACIONES GENERALES

Los diversos factores que hay que tener en cuenta cuando se trata de resolver el problema de lavado de carbón, son múltiples.

En primer lugar debemos considerar las características, desde el punto de vista de lavabilidad, del carbón bruto que hay que tratar.

Estas características varían mucho de un carbón a otro; son muy diferentes en un carbón antracitoso o graso y varían aún más tratándose de lignitos.

Las curvas de lavabilidad son extremadamente útiles para el estudio de estas características. Nos indican si el lavado de un carbón será muy fácil de rea-

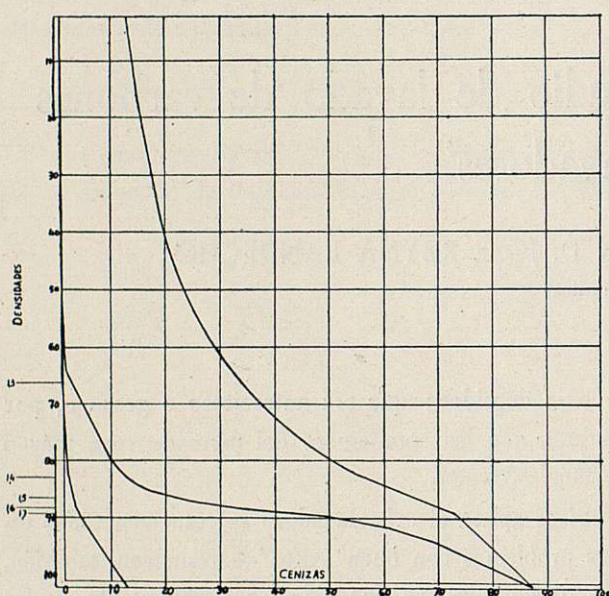


Fig. 1

lizar a la perfección o si, por el contrario, presentará dificultades, nos indican los rendimientos, resultados posibles, etc., etc.

Creemos útil, para la buena interpretación de lo que precede, dar una serie típica de estas curvas de lavabilidad de carbones brutos que son lavados por «reolavadores».

Las curvas de lavabilidad (Fig. números 1 y 2) se refieren a carbones completamente diferentes. El primer carbón apenas tiene «mixtos» y es facilísimo de lavar.

El segundo, representado por la curva número 2, es más difícil de lavar que el precedente y obliga a

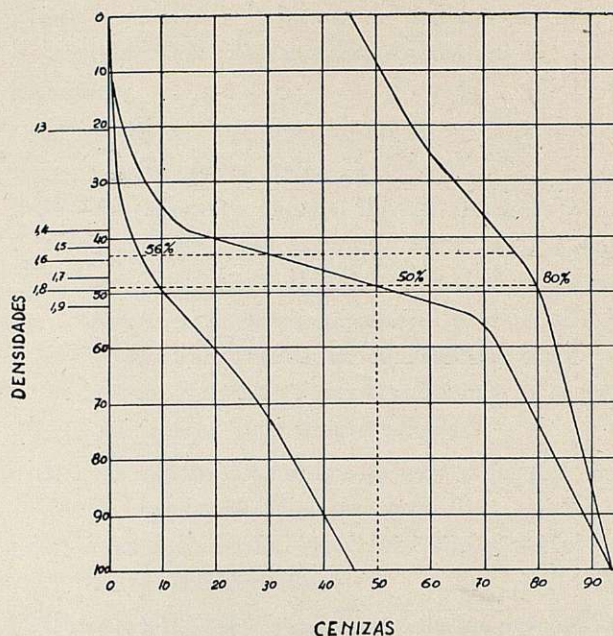


Fig. 2

adoptar un procedimiento más eficaz, y dentro de esto instalaciones más completas.

Este carbón está constituido por carbón muy puro, verdaderos mixtos y pizarras en proporciones muy variables.

Los carbones de la cuenca de Villablino se asemejan a este tipo. La mayoría de los carbones de Asturias se pueden considerar como un tipo intermedio de los dos antes citados.

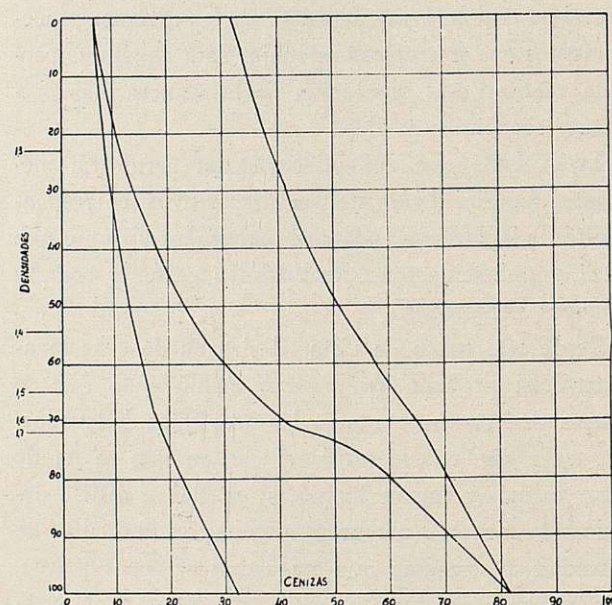


Fig. 3

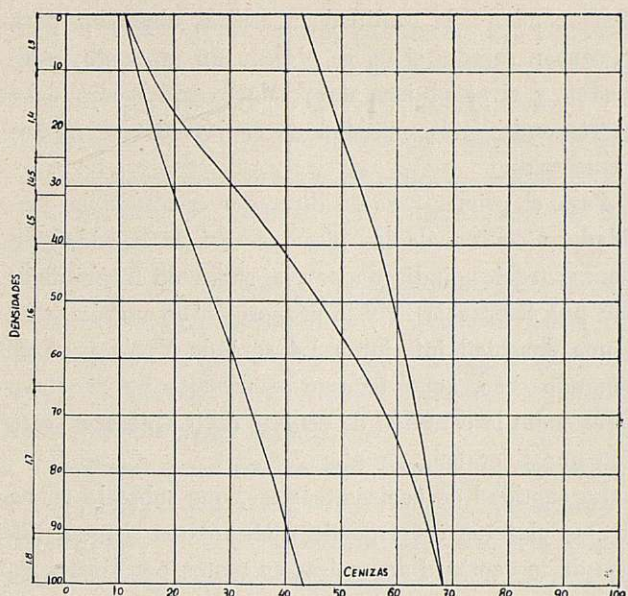


Fig. 4

Las figuras números 3 y 4 muestran las características de carbones que provienen de formaciones diversas.

Sus principales características son diferentes de las primeras.

Primero: Poco carbón, puro, ligero.

Segundo: Se observa una proporción considerable de mixtos mineralógicos.

Tercero: Las pizarras están con frecuencia en dé-

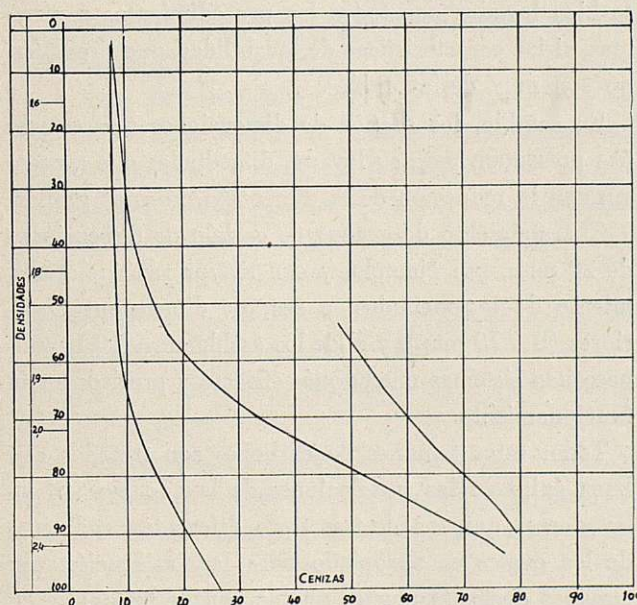


Fig. 5

bil proporción y, por lo general, íntimamente unidas a materias combustibles que afectan a su densidad. Estos carbones son evidentemente muy difíciles de lavar y exigen para su depuración una buena elección del sistema que se haya de seguir para su lavado. En esta clase de carbones podemos considerar una gran parte de los lignitos nacionales.

Existe aún otra clase de carbones en bruto, tal como los representados por las curvas de lavabilidad de la figura 5.

Estos carbones no tienen prácticamente carbón ligero, producto cuya densidad es inferior a 1,6.

Todas estas clases de carbones son tratados por el sistema de «rheolavadores» con buen éxito.

En algunas ocasiones se interpreta una curva de lavabilidad como si fuese la imagen exacta de la separación que debe hacerse prácticamente, mientras que no es más que una imagen más o menos aproximada.

Indiscutiblemente, la forma física de las partículas que constituyen el carbón bruto o la proporción más o menos grande de productos tenues contenidos en el carbón bruto, influyen de tal forma que hacen más o menos difícil el lavado.

Se pierde a menudo de vista que la separación por lavado no puede jamás hacerse con una exactitud y precisión absolutas, sino que debe hacerse entre límites de densidad más o menos próximos a la densidad teórica de separación, límites tanto más próximos cuanto sean más perfectas el sistema de lavado, los dispositivos adoptados, la regulación automática y la de marcha del lavadero.

Así, por ejemplo, si la densidad teórica de separación de carbones y pizarras para obtener carbón lavado al 5 % de cenizas es de 1,6, la separación se hará casi enteramente entre los límites; pongamos 1,5 a 1,7, es decir, que una parte de los productos comprendidos entre 1,5 y 1,6 pasarán a las pizarras, mientras que una parte de los productos con densidad comprendida entre 1,6 y 1,7 pasarán al carbón, sin que esto tenga influencia apreciable sobre los productos separados cuando estos límites están próximos; pero sí tienen influencia considerable si la separación entre estos límites es exagerada. Por esta razón puede ser útil hacer garantizar la proporción de las verdaderas pizarras que podrían encontrarse indebidamente en el carbón lavado, si se considera la densidad teórica de separación y acercarse lo más posible al límite prác-

tico de separación cuanto más alto sea esta densidad teórica. Supongamos, por ejemplo, que el lavado de un producto con 5 % de cenizas corresponde a una densidad teórica de separación de 1,6. Se debe pedir la garantía de que no se encontrará en el carbón lavado más del 1 % de pizarras con densidad superior a 1,8.

Si el lavado debe hacerse con un 8 % de cenizas que corresponde a una densidad teórica de 1,8, se debe pedir la garantía de que no se encuentre en el carbón lavado más del 1 % de pizarras con densidad superior a 2.

Por supuesto, que estas tolerancias son arbitrarias, pues deben estar en correlación con la naturaleza del carbón.

Nos parece interesante añadir algunas palabras con respecto a los productos intermedios más comúnmente llamados mixtos. Es muy complejo, y generalmente muy mal interpretado, cuando se lo considera con las garantías que pueden ser impuestas a los constructores de lavaderos. Algunos suelen decir: «nos hacen falta mixtos para nuestro consumo interior». Importa poco producir una cantidad exagerada en relación con la cantidad teórica, y se encuentran muy satisfechos con tener una cantidad considerable de mixtos que contienen hasta un 50 % de carbón puro.

A nuestro modo de ver un lavadero debe ser proyectado para obtener el máximo de productos lavados, pizarras perfectas y un número de productos intermedio, o sea, mixtos.

Las exigencias del mercado o de los servicios para obtener una cantidad más considerable de mixtos o de productos con un tanto por ciento de cenizas más elevado de la cantidad teórica, constituyen simples problemas de mezclas que pueden siempre ser resueltos con gran facilidad, pero debe, sin embargo, apreciarse en su justo valor el hecho de que ciertos sistemas pueden resolver tales problemas de una manera más ventajosa que otros.

También ocurre con frecuencia el solicitar mixtos de un porcentaje determinado de cenizas; pongamos, por ejemplo, el 25 %, sin que en éstos se encuentre carbón puro y que las pizarras sean perfectas. Éste, como vemos por las curvas de lavabilidad, es casi imposible de resolver ni aún teóricamente.

La ley de cenizas de las pizarras garantizadas debe estar indicada por las curvas de lavabilidad. Debe

corresponder a la cantidad en cenizas obtenidas para el carbón lavado, si no se obtiene un producto intermedio, y si se obtiene un producto intermedio debe corresponder a la cantidad en cenizas de los mixtos elementales.

Para el primer caso se dirá, por ejemplo: la cantidad en cenizas de las pizarras será la cantidad de cenizas teórica, indicada por la curva de lavabilidad, con una tolerancia X, y la proporción de carbón puro a una densidad inferior a 1,4 será de Y %, y en el segundo caso, aquél en que se produce un producto intermedio la cantidad de cenizas de las pizarras, será con una tolerancia de X'.

La cantidad de cenizas teóricas, que sobre la curva de las pizarras corresponde a los mixtos elementales, nos da la cantidad de cenizas en tantos por cientos de los mixtos, y la proporción de carbón de una densidad inferior a 1,4 de Y' %.

Un segundo factor, digno de tener en consideración cuando se trata del lavado de un carbón, es su granulometría o clasificación por tamaños del carbón bruto que se ha de lavar.

Es perfectamente conocido que el lavado es tanto más fácil cuando los granos tienen tamaños de 75 a 100 mm., dimensión máxima que se admite generalmente para el carbón que tiene que pasar por los diferentes aparatos de lavado.

Los granos de mayor tamaño, o sea, en una palabra, el producto denominado galleta son prácticamente bien lavados por todos los procedimientos o sistemas, si las características de lavabilidad que presentan no son muy desfavorables.

En cambio, los granos de dimensiones más pequeñas presentan, para su lavado, dificultades que aumentan con la reducción de la dimensión de estos granos.

El tratamiento de granos de carbón de dimensiones de 20 mm., por ejemplo, y con mayor razón el tratamiento de los menudos, o sea, de dimensiones inferiores (8 ó 10 mm.), y el de los «schlamms» (0,1 mm.) necesitan sistemas mucho más eficaces y precisos en su funcionamiento.

Todos estos tamaños de carbones son tratados con buen éxito en las instalaciones de lavado con «rheolavadores» que son de tres tipos diferentes, cada uno de los cuales es apropiado para la clasificación por tamaños de los productos que se han de tratar.

Primero: La instalación de lavado a «nivel lleno»

para el tratamiento de los granos de los carbones brutos. Los diámetros de estos granos varían entre los 5 mm. como mínimo y 120 mm. como máximo.

Segundo: La instalación de lavado llamada «de caída libre» para la separación de materias densas en un carbón bruto de dimensiones comprendidas de 0,5 a 12 mm., y

Tercero: La instalación de lavado llamada por los franceses «a longues pointes», de una concepción especial necesaria para la clasificación según densidad de granos contenidos en los lodos del lavadero denominados, comúnmente, «schlamms».

Las condiciones nacionales del mercado de carbones, la calidad de la mano de obra, la fuerza motriz disponible, etc., son igualmente factores cuya consideración no puede ser despreciada cuando se trata de elegir sistema.

Uno de los factores que debemos de tener muy en consideración es el de la garantía del lavado.

En las sociedades hulleras, y muy especialmente en las minero-siderúrgicas, el lavadero es un auxiliar del servicio comercial. Los fines perseguidos son muy variables y dependen esencialmente de los tipos de carbón y de la situación comercial; pero en todos los casos un lavadero debe satisfacer a la condición siguiente: *Dar en cada instante la totalidad de carbón con la cantidad de cenizas determinadas que sea posible extraer del carbón bruto, tratado en ese instante.*

La cantidad de cenizas la fija el servicio comercial, cuyo objeto es obtener el precio máximo de venta por tonelada del carbón extraído.

Un buen lavadero debe estar enteramente a disposición del servicio comercial y darle completa satisfacción en cuanto a cenizas, en rendimiento de carbón y en mixtos; estos últimos, si no hay contraindicación, deben reducirse a los mixtos constitutivos del carbón bruto que se ha de tratar.

Esta condición lleva consigo, implícitamente, las consecuencias siguientes:

Primera: Cantidad de cenizas muy regular en los carbones lavados.

Las fluctuaciones accidentales de este porcentaje de cenizas ocasionan: o pérdidas de carbón en las pizarras y mixtos si las cenizas disminuyen, o quejas de los clientes si aumentan, así como la imposibilidad de vender a buen precio con la garantía de un elevado grado de pureza.

Segunda: Cantidad de pizarra sensiblemente nula en el carbón puro y débil en los mixtos.

Tercera: Cantidad mínima de mixtos en el carbón y en las pizarras; por lo tanto, reducción al mínimo del porcentaje de mixtos.

La comprobación automática, la continuidad en la composición de los mixtos con condiciones esenciales del funcionamiento económico de un lavadero.

Cuarta: Posibilidad para la instalación de soportar con el mínimo de repercusión sobre la composición de los productos, las variaciones inevitables de la alimentación del lavadero.

Esta cualidad es esencial, sin ella toda irregularidad de alimentación, en calidad o en cantidad, pone en peligro de perturbar los resultados normalmente buenos y de perder todo el fruto, o sea, la estabilidad del lavadero.

Las garantías que se deben imponer al sistema de lavado deberán permitir verificar que el sistema adoptado responde a todas estas consideraciones.

TEORÍA DEL LAVADO Y ALGUNOS CASOS PARTICULARES

A continuación, tras exponer de manera somera el funcionamiento de los «rheolavadores», vamos a ocuparnos de algunas mejoras recientes.

El «rheolavador» no es, propiamente dicho, un aparato de lavado. En realidad, toda la clasificación se opera, no en este aparato, sino más bien en un canal de dimensiones y pendientes adecuadas, en el fondo del cual se coloca el «rheolavador».

La base de esta clasificación es por aluvionamiento, y es más bien de orden mecánico; se apoya principalmente sobre la forma y propiedades físicas de los trozos de carbón y de las pizarras; los unos, generalmente, de forma cúbica, y los otros de forma plana, según los tres principios siguientes:

1.º Un trozo de carbón y un trozo de pizarra, clasificados en la misma categoría, y que tengan, por tanto, el mismo volumen, arrojados en el agua tranquila, nos dan velocidades sensiblemente iguales.

2.º Estos dos trozos sumidos en una corriente de preparación, el trozo de carbón (cúbico) será arrasado más rápidamente que el trozo de pizarra (forma plana) por presentar menos sección a la acción de la corriente.

3.º La forma plana de las pizarras y su naturaleza aumentan la superficie de frotamiento, y disminuyen la velocidad de progresión en el canal.

En consecuencia, todas las partículas están solicitadas, por una parte, por la velocidad de caída, y por otra, por la corriente de preparación. En consecuencia, la resultante es menos inclinada, respecto de la horizontal, para el carbón que para las pizarras, y éstas llegan al fondo del canal más rápidamente que el carbón, sin distinción de dimensiones. Dicho de otro modo, se produce, y muy rápidamente, una clasificación por densidades, y forman las pizarras en el fondo del canal un lecho de lavado cuyo mantenimiento es indispensable para la continuidad de la operación.

El carbón sube a la superficie rodando a mayor velocidad y las pizarras se acumulan en el fondo del lecho, pues los diferentes lechos de densidad decreciente se mueven en el canal con velocidades crecientes.

Por lo tanto, en un «rheolavador», en el caso de lavado de finos (una caja de fundición colocada en el fondo del canal y que posee una ranura rectangular transversal), el carbón, gracias a su velocidad, franquea la ranura sin caer y el lecho de pizarras, que camina más lentamente, tiende a sepultarse.

Más para evitar toda deformación del lecho de lavado, a la derecha del aparato se hace intervenir una ligera corriente ascensional, que al mismo tiempo evita que el lecho sea impregnado de partículas carbonosas finas y, sobre todo, facilita retirar en lo posible las pizarras más gruesas. El lecho de lavado se reforma al otro lado del «rheolavador». Varios aparatos, sucesivamente colocados después del primero, realizarán el mismo proceso y dejarán pasar los productos más pequeños, y continuará el lecho de lavado más rico en carbón. A la extremidad del canal es eliminado el carbón prácticamente puro.

Entre estos dos productos extremos hay un corte intermedio formado, principalmente, de mixtos, el gran enemigo de lavado por cajas.

Importa operar la clasificación de este producto intermedio, asegurando la separación completa del carbón y de las pizarras y enviar, finalmente, bien sea con el carbón o con las pizarras, este producto intermedio llamado mixtos.

Se deduce, también, de lo que precede, que si los primeros aparatos del canal eliminan las pizarras prác-

ticamente puras, los otros separan un producto cuyo contenido en cenizas disminuye progresivamente y es útil de relevar. Esto es, que interviene una de las características esenciales del sistema, que realiza una disposición llamada «en cascada» que lleva varios canales superpuestos, generalmente tres o cuatro. Cada uno de ellos trata, según el proceso descrito, atravesando los aparatos del canal superior inmediato.

Se obtiene, en fin de cuentas, de una parte las pizarras, de otra el carbón y de otra parte un producto que precisa relavar. Este último se envía a la cabeza de la instalación, y mezclado con el carbón bruto constituye y aumenta la importancia del lecho comprendido entre las pizarras y el carbón, con lo que la separación es más definida. El lecho de mixtos constituye, en todo caso una barrera entre el carbón y las pizarras.

Las purgas de los primeros aparatos del canal superior, los cuales son de corriente ascensional, son enviadas directamente al tercer canal y constituye lecho de lavado rico en estériles.

El ancho y pendiente de este canal son estudiados para efectuar rápidamente el desprendimiento de las materias carbonosas.

Los aparatos que llamamos sucintamente de caída libre se regulan con un disco de aberturas variables (Ver esquema),

Para los tamaños gruesos los aparatos son ligeramente distintos de los procedentes.

La diferencia estriba en que la abertura capaz de dejar pasar en cantidad las pizarras gruesas debe ser tal que resulte suficiente para evitar perturbaciones importantes en la composición y espesor del lecho de lavado.

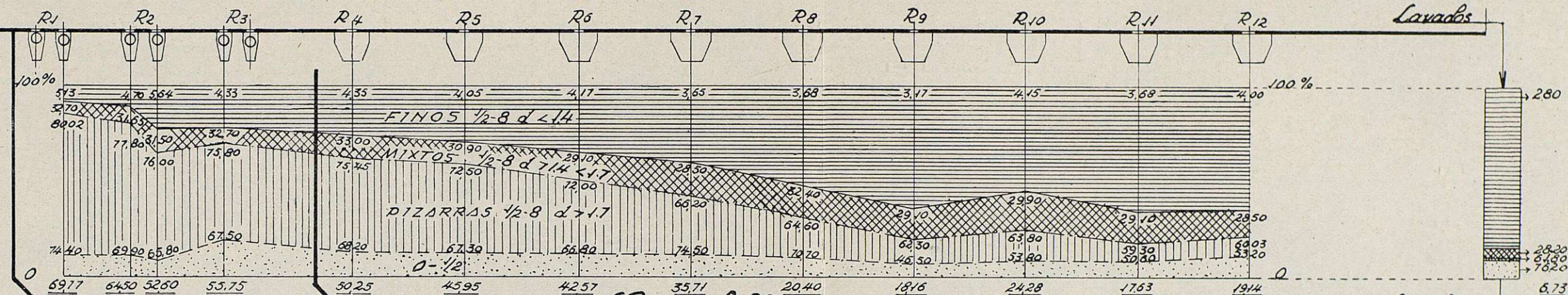
Cada aparato está ligado por el fondo al pie de una cadena de cangilones que funciona a nivel lleno.

Para mantener el lecho de lavado, la caída de pizarras que precisa eliminar es de funcionamiento intermitente, producido por un obturador, movido mecánicamente, que obstruye toda la sección del orificio de evacuación regable.

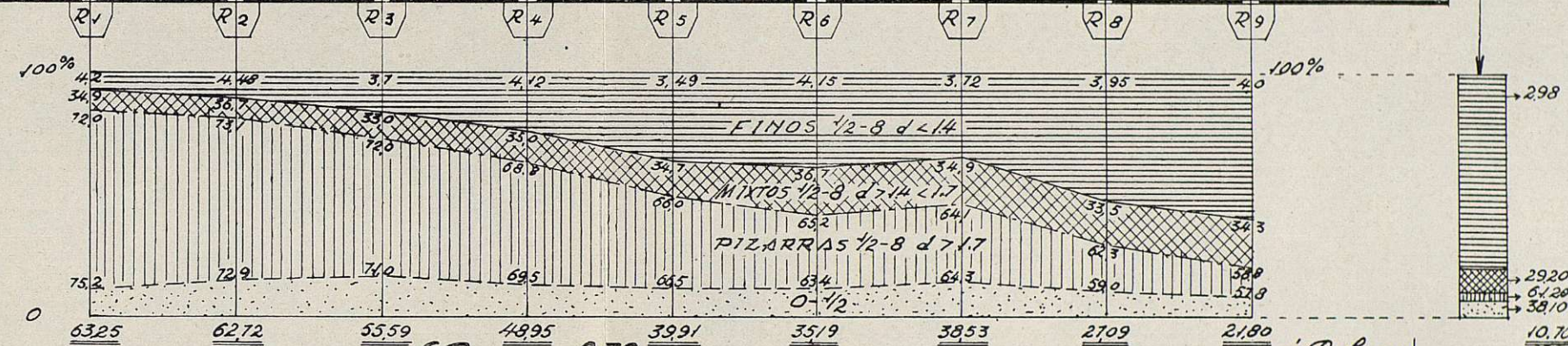
Dicho obturador está perforado y favorece la acción de la ligera corriente ascensional, que neutraliza, luego de la caída de pizarras, los efectos de succión sobre las partículas más finas de carbón.

Una instalación a nivel lleno lleva dos aparatos en un mismo canal. El primero, con corriente ascensio-

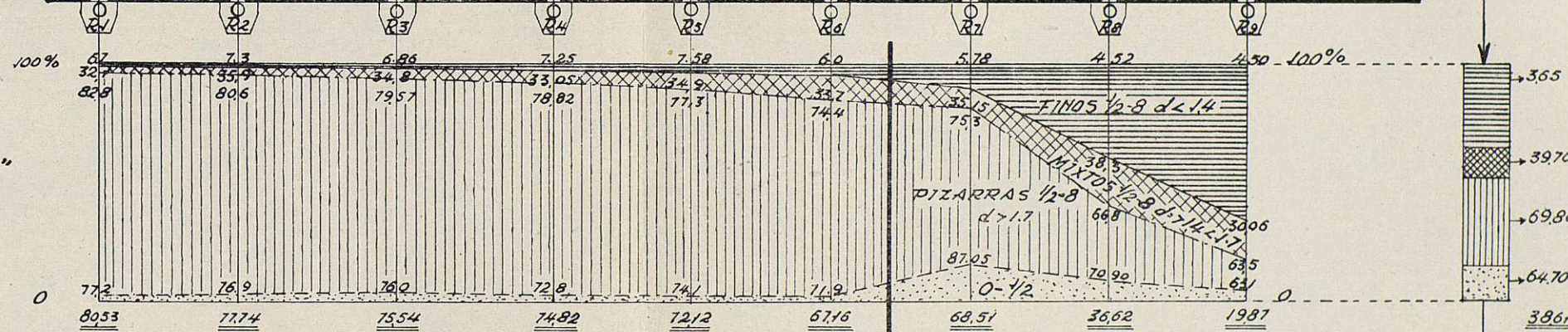
Canal 1º



Canal 2º



Canal 3º



ESQUEMA DE LA MARCHA DE LAVADO EN LA INSTALACION DE FINOS CON DIAGRAMAS DE LA VARIACION DE COMPOSICION DEL PRODUCTO EVACUADO POR CADA UNO DE LOS "RHEOLAVADORES"

NOTAS:

⊗ Indica aparatos con corriente ascensional.
Las cifras figuradas en los diagramas indican las cenizas de los constituidos correspondientes y las cifras subrayadas (69.77) el contenido medio

hacia la Cisterna de Pizarras

hacia la Cisterna de

Relavado

nal elimina las pizarras puras, las cuales caen al pie de la cadena de cangilones que las eleva para verter a los canales de evacuación de tierras. El otro aparato, llamado regulador, desprovisto de corriente ascensional, elimina todo lo que queda del lecho de lavado independientemente del carbón, el cual se recoge solamente en la extremidad del canal. El producto eliminado por este segundo aparato es enviado a la cabeza de la instalación para ser relavado.

Hay que anotar que en la mayor parte de los lavaderos modernos las pizarras del primer aparato son relevadas en un segundo canal.

En estos últimos años se ha puesto en servicio la regulación automática de las baterías de granos y finos, con que se facilita la preparación de carbones de calidad uniforme, en cuanto a su tanto por ciento de cenizas, y asegura, además, la regularidad de la pureza de las pizarras.

El desquistador automático satisface estas condiciones primordiales. En primer lugar, su acción se manifiesta en cuanto las condiciones de las materias en curso de tratamiento se modifican ligeramente. En segundo lugar, la evacuación de materias densas está en relación directa con su llegada y, por lo tanto, aumenta el rendimiento de dichas instalaciones independientemente de la mayor regularidad de los productos obtenidos.

El lavado de los lodos del lavadero o «schlamms» han sido enormemente simplificados, como veremos más adelante en las descripciones de algunos lavaderos en marcha, tanto en España como en el extranjero, y ha dado resultados cuantitativos y cualitativos que son dignos de tenerse en consideración. El «rheolavador» de «schlamms» separa, actualmente, a la perfección las partículas cuyos diámetros son superiores a 0,1 mm. La separación de los granos de diámetro inferior a esta dimensión se separan satisfactoriamente.

DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS PERFECCIONAMIENTOS APORTADOS A LAS INSTALACIONES DE LAVADO POR «RHEOLAVADORES»

A.—COMBINACIÓN DE INSTALACIONES DE FINOS Y DE SCHLAMMS.

Objeto perseguido: Mejorar la evacuación de estériles. Se ha comprobado que en el lavado de «schlamms»

de carbón por aluvión, la clasificación de partículas estériles, aun las más ténues, se efectúa perfectamente cuando la inclinación y las secciones de las canales son apropiadas a la naturaleza de los productos que se han de tratar. Este producto es arrastrado en un medio de lodos de concentración bien determinado. El problema secundario que precisa resolver consiste en realizar la evacuación continua de este lodo, sin perjudicar la clasificación por aluvionamiento.

El «rheolavador», gracias a la posibilidad de reducir algunos milímetros el diámetro del orificio de salida de las pizarras, permite fácilmente reglar la evacuación de pizarras a medida que se producen en la ranura de la canal. Se obtiene así en la cámara de evacuación del aparato un lodo espeso y relativamente compacto, que a veces tiene tendencia a colmar las paredes de la cámara y, por lo tanto, a obstruir ésta más o menos, e incluso, llegar a cerrarla completamente.

Para evitar estos inconvenientes se han ideado diversos medios, y aquél que nos parece más interesante es el que consiste en introducir en los canales inferiores de la instalación un producto auxiliar compuesto de partículas granuladas, de la misma densidad o de densidad un poco superior a la de las partículas de pizarras a separar. Por ejemplo, arena de dimensiones comprendidas entre $1/4$ y $1/2$ ó de 1 mm.

La mezcla inicial así realizada ofrece la ventaja de hacer los lodos menos compactos, y que, por lo tanto, se desprenden de la cámara de evacuación del aparato fácilmente. Para reducir al mínimo el consumo de este producto auxiliar, que no debe pasar de los 1.000 Kg. por jornada, se ha ideado la siguiente disposición, que se adoptó definitivamente.

Descripción de la disposición combinada.—Consiste en una combinación de instalaciones de finos y de «schlamms» que representamos en la fig. núm. 6. La instalación combinada consta esencialmente de tres series de canales:

La primera está constituida por los canales superiores (A) y (B) de una instalación de finos; la segunda está constituida por los canales superiores (A') y (B') de las instalaciones de «schlamms», y la tercera por los canales inferiores (C) y (D) de la instalación de finos apropiados a las condiciones nuevas de su funcionamiento. El producto bruto con menos de 10 mm. es clasificado por aluvión en la primera serie de cana-

les, de acuerdo con el proceso corriente y común a estos lavaderos.

El producto lavado que sale en la extremidad de estos canales pasa, a continuación, por un sistema apropiado cualquiera para el desenlodado de sus partículas más finas, y es enviado por medio de una bomba a la cabeza de la segunda serie de canales para ser clasificado por aluvión.

Los productos densos eliminados por las ranuras de los canales inferiores de estas dos series son recibidos y tratados conjuntamente en la tercera serie de canales, con el fin de obtener, mediante los «rheos», pizarras absolutamente puras y accidentalmente mixtos, mientras que los productos que salen en la extremidad

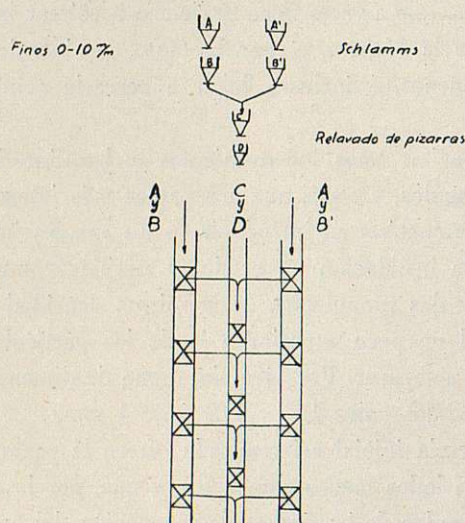


Fig. 6

de estos canales constituye lo que hemos llamado el producto regulador, que lo llevamos nuevamente a la cabeza de la serie superior de canales de finos (0-1 mm.) en (A).

Ventajas.—La eficacia de la clasificación por aluvión de las partículas más tenues dependen de la velocidad de la corriente de arrastre. De ahí la necesidad de que estos canales tengan sección y longitud apropiadas para obtener esa velocidad deseada.

En consecuencia, se estima que en las instalaciones de finos de tipo normal, las partículas inferiores a 0,3 ó 0,4 mm. sufren un lavado incompleto, y que es interesante someterlos a nuevo tratamiento complementario en canales más apropiados; o sea, de pendiente

y sección en donde se pueda reglar a voluntad la concentración de lodos.

Las dos series superiores de canales permite obtener con toda eficacia los productos finos y «schlamms» lavados (de manera arbitraria hemos designado con el nombre de «schlamms» los «schlamms» verdaderos, o sea, los que se diluyen en el agua de circulación y también los productos tenues no lavados de las instalaciones de finos que separamos en las rejillas o «vibros» de desenlodado).

Mientras que en la extremidad de los canales (A) y (B) los carbones muy finos son separados de los carbones lavados (0-10 mm.) para su posterior y último tratamiento las canales (A') y (B'), en la tercera serie de canales reunimos, por el contrario, los productos densos contenidos en las partículas densas granuladas, con el fin de eliminar el máximo de partículas densas más finas.

Vamos a señalar las particularidades que favorecen en las canales inferiores la clasificación por aluvión de las pizarras mezcladas y su evacuación por los aparatos «rheolavadores»; las partículas densas son muy finas.

Los productos finos densos, evacuados por los aparatos de las canales de «schlamms», tienden naturalmente por su suspensión en la corriente de arrastre de las pizarras que se han de relavar a constituir un medio de aluvión, cuya densidad es muy próxima a la densidad teórica de separación de partículas ligeras con las partículas densas, las que deben permitir el depósito de partículas densas y la flotación de partículas ligeras.

Como hemos dicho en otra parte, para favorecer la formación rápida del depósito de partículas densas muy tenues había que llegar a conseguir reducida velocidad en la corriente de arrastre. Con los canales de relevado de las pizarras (C) y (D), cuando no hay que arrastrar más que una débil cantidad de carbón bruto, se llega a condiciones muy favorables de clasificación, conservando el modelo corriente de lavado de carbón (0-10 mm.) y simplificando el lavadero de «schlamms».

En el aluvionamiento de este producto, al estar así asegurado, la evacuación de partículas finas se podrá hacer con gran eficacia, puesto que serán arrastradas en los aparatos por las partículas granuladas y, como ya dijimos anteriormente, realizamos una operación

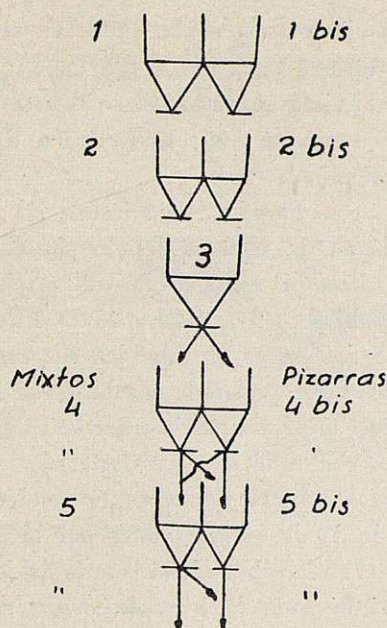


Fig. 7

análoga a la que hemos descrito al principio de nuestra exposición y que consistirá en la introducción de un producto denso auxiliar en los canales inferiores de la instalación de lavado de «schlamms». Por otro lado, suprimimos el enlodado por arcilla de las cámaras de evacuación de los aparatos «rheolavadores». Como es natural, los dos o tres primeros «rheos» de cada canal serán de corriente ascensional con el fin de eliminar en aquéllos las pizarras mayores y permitir regular, con menores diámetros, los orificios de salida de los aparatos siguientes que deben marchar con cámara llena, sin corriente ascensional.

B.—MEDIOS EMPLEADOS PARA OBTENER UN PRODUCTO INTERMEDIO DENOMINADO COMÚNMENTE MIXTOS EN LAS INSTALACIONES DE FINOS DE (0-10 MILÍMETROS).

Para separar estos productos en las instalaciones con caída libre, que son empleadas en el tratamiento de los finos, es suficiente doblar los dos canales inferiores de la instalación, según se puede ver en la figura núm. 7, y hacer la regulación siguiente: Todos los «rheos» del canal 3 que contengan mucha cantidad de pizarra evacúan sus productos en el canal 4 bis, mientras que las purgas de los «rheos» que hayan sido regulados para dar un producto con mixtos serán dirigidos hacia la canal 4.

Los «rheos» del 4, y 4 bis que pueden ser regulados para obtener pizarras casi puras a fin de evacuarlas en la canal 5 bis, mientras que los «rheos» que dan sobre todo productos con mixtos evacúan éstos en el canal 5.

Todos los «rheos» del canal 5 bis serán regulados para obtener pizarras puras, mientras que una parte de los «rheos» 5 podrán aún ser regulados para obtener pizarras perfectas mientras que otros darán casi exclusivamente mixtos.

Los productos que salen por las extremidades de los canales irán a mezclarse con el producto regulador de la instalación.

INSTALACIONES PARA GRANOS

Para obtener exclusivamente mixtos con las instalaciones a nivel lleno empleadas para lavado de granos, se utilizan tres tipos de disposiciones (Fig. 8).

El primer relavado de pizarras tiene por objeto recuperar el carbón que haya podido ser arrastrado accidentalmente.

El segundo relavado de las pizarras que no contienen ya carbón tienen por objeto la separación entre mixtos y pizarras.

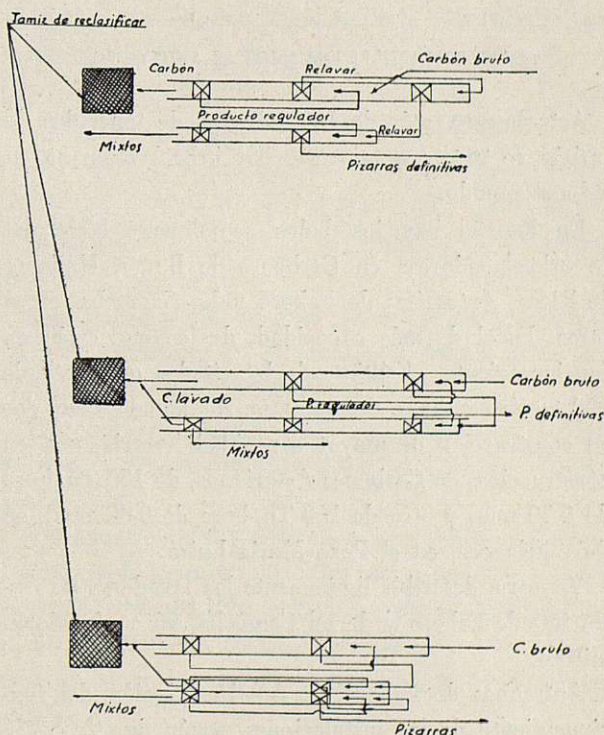


Fig. 8

En la segunda disposición se regula el primer «rheo» del canal de relavado con el fin de obtener pizarras perfectas.

El segundo «rheo» que nos da el producto regulador envía al tercer «rheo» mixtos y carbón; la regulación de este último aparato permite separar los mixtos, mientras que el producto que rebasa el «rheo» está constituido de carbón puro y, por lo tanto, es mezclado con el que procede del canal general de lavado, y por último, en la tercera disposición, el primer «rheo» de la primer canal de relavado está regulada para separar las pizarras y los mixtos que serán relavados en el segundo canal de relavado.

Se obtienen, pues, los mixtos en la extremidad de este segundo canal de relavado.

Además, cada una de estas disposiciones es susceptible de que se le agregue una instalación de trituración de mixtos, con el objeto de tratar estos productos triturados en las instalaciones de finos.

Evidentemente, las disposiciones que acabamos de exponer no tienen más justificación que en los casos de carbones muy sucios, muy borranosos, y en aquellos lavaderos de gran capacidad en los que con tales disposiciones se contribuye a dar más flexibilidad y seguridad a la marcha del lavado.

DESCRIPCIÓN DE INSTALACIONES

Actualmente, más de 100 millones de toneladas de carbón se tratan anualmente por «rheolavadores» en todo el mundo.

En España hay instalados actualmente lavaderos de «rheolavadores» en Carbones de Berga, Hulleras de Riosa, Antracitas de Fabero y La Camocha, entre otras. Es el de más capacidad, de los que están en funcionamiento, el último de los citados que trata de 120 toneladas, hora, de 0-50 mm. Actualmente hay dos en construcción de mayor capacidad horaria, uno en construcción, en Carbones Asturianos, de 150 Tn.-hora de 0-70 mm. y otro de 160 Tn.-hora de 0-80 mm., en Duro-Felguera, en el Pozo María Luisa.

Vamos a describir ligeramente los lavaderos de Antracitas de Fabero y de La Camocha, ya en funcionamiento.

Antracitas de Fabero, S. A.—Descripción del funcionamiento de las instalaciones, según fig. 9.

a) *Circulación de los productos*: El carbón todo

uno bruto, almacenado en la tolva (1), es recogida en la base de esta tolva por el distribuidor mecánico de (2) que lo vierte sobre la criba (3) para clasificarlo en 60 a + y en 0-60: Esta criba es del tipo oscilante longitudinal.

El 60 a + es llevado a una instalación de clasificación a mano. El 0-60 es llevado por el transportador de racletas (4) sobre el tamiz de preclasificación (5), que clasifica en 0-8; 8-25 y 25-60. Este tamiz es del tipo de dos mesas equilibradas suspendidas por bielas flexibles. En marcha la instalación se ensaya para determinar el grueso máximo que se va a tratar en el lavadero, con resultados satisfactorios.

Lavado del 0-8: El 0-8 bruto es conducido a la fosa (6), de donde se le conduce por la cadena de cangilones (7) a la cabeza de la batería del lavado (8), la cual está formada de 4 canales superpuestos, provistos de aparatos «rheolavadores» del tipo de caída libre.

El carbón lavado obtenido en los extremos de los dos canales superiores es llevado al tamiz móvil de secado (9) y pasa luego por la rejilla fija de desenlamado (10).

El tamiz móvil es de tipo dos mesas equilibradas y suspendido por bielas flexibles.

La rejilla fija y el tamiz móvil están provistos de parrillas de bronce de sección trapezoidal separadas de 0 mm., 3 para la rejilla fija y la primera mesa, y de 0 mm., 5 para la segunda mesa.

Al extremo del tercero y cuarto canal de la batería de lavado se obtiene el producto regulador que es conducido a la fosa (6) para ser tratado nuevamente mezclado con el carbón bruto.

Las pizarras definitivas 0-8 son extraídas de los aparatos «rheolavadores» del cuarto canal y evacuadas al exterior por corriente de agua.

Lavado del 8-25 y 25-60: Estos productos brutos son llevados a la cabeza del canal de lavado (11), el que está provisto de una pared intermedia y de dos aparatos «rheolavadores» dobles del tipo nivel-leno (12) y (13) para poder tratar separadamente estas dos categorías.

El «rheolavador» (12) extrae las pizarras que se han de relavar, que son recogidas por la cadena de cangilones de dos compartimientos (14), que los lleva a la cabeza del canal de relavado de pizarras (15).

El «rheolavador» (13) extrae los productos regula-

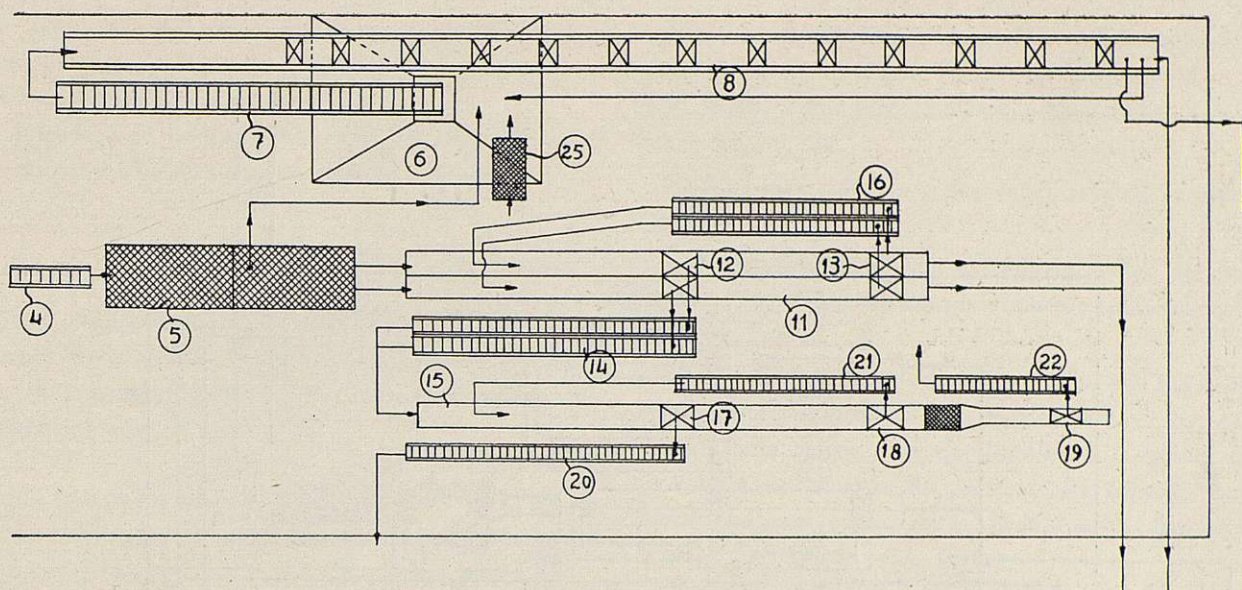


Fig. 9

dor del lavado, el cual es recogido por la cadena de cangilones a dos compartimientos (16) y llevados a la cabeza de la instalación en sus compartimientos respectivos.

El canal de relavado de pizarras 8-60 (15), está provisto de tres aparatos «rheolavadores» de tipo a nivel lleno (17), (18) y (19).

El «rheolavador» (17) extrae las pizarras definitivas 8-60, las cuales son llevadas por la cadena de cangilones (20) y evacuadas al exterior.

El «rheolavador» (18) extrae el producto regulador que es conducido por la cadena de cangilones (21) a la cabeza del canal de relavado de pizarras (15).

El «rheolavador» (19) extrae los mixtos 8-60, que son recogidos por la cadena de cangilones (22).

El carbón 8-60 lavado y obtenido en los extremos de los canales del lavado y relavado (11) y (15) es enviado sobre el tamiz de reclasificación (23) y pasa antes por la rejilla fija (24).

El tamiz (23) es de tipo dos mesas equilibradas y suspendidas por bielas flexibles.

El 8-60 lavado es clasificado en 8-15; 15-25 y 25-60 y eventualmente en 60 a +.

Las aguas de lavar y recibaduras 0-8 son enviadas sobre la rejilla fija (25) colocada encima de la fosa (6).

Los productos lavados 0-8, 8-15, 15-25, 25-60 y

60 a + son almacenados en las tolvas (26), (27), (28), (29) y (30); el 25-60 y 60 a + por medio de canales helicoidales (31) y (32) y el 8-15 por canal en corriente de agua y rejilla fija (33) con parrilla de bronce trapezoidal de 1 mm. de separación.

b) *Circulación de las aguas:* Las aguas que provienen: 1.º, del desbordamiento de la fosa (6); 2.º, del tamiz de secado de los finos (9) y de la rejilla de deslaminado (10), y 3.º, de las rejillas (25) y (33) son conducidas a las tolvas de decantación (34).

El agua clarificada del desbordamiento de las tolvas de decantación es llevada al pozo (35) y elevada por la bomba de circulación (36) al depósito de nivel constante (37).

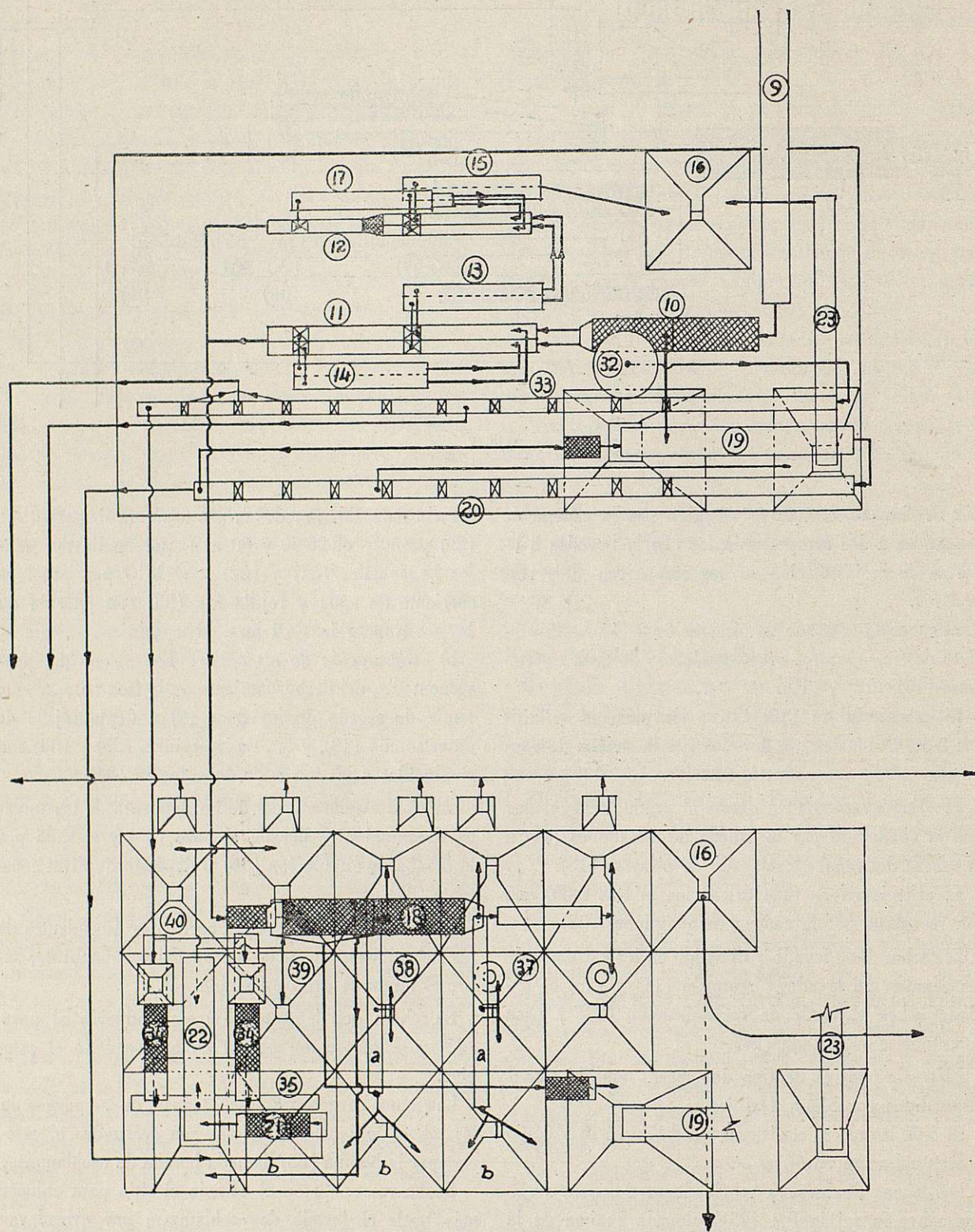
Este depósito alimenta las corrientes ascendentes de los «rheolavadores» y el regado del carbón bruto, sobre el tamiz de preclasificación (5).

El rebose del depósito (37) es conducido al pozo (35) y el rebose del pozo (35) es evacuado al exterior.

Las aguas cargadas de «schlamms», de las purgas de las tolvas de decantación (34), son evacuadas al exterior por la bomba (38) llamada bomba de «schlamms».

Se ha reservado en el edificio el sitio para colocar más tarde el lavado de «schlamms» por «rheolavadores».

Regado de los productos lavados: El depósito (39)



de agua clara está destinado al regado de los productos sobre el tamiz de finos lavados (9) y sobre el tamiz de reclasificado del 8-60 lavado (23).

Lavadero de La Camocha.—Descripción del funcionamiento de las instalaciones, según fig. núm. 10.

CLASIFICACIÓN

Las vagonetas de mina son arrastradas mecánicamente desde el pozo al basculador (1) para ser vertido su contenido sobre la criba de clasificación que separa en 80 a + y 0-80 (2).

El 80 a + (cribado) es escogido a mano en la mesa transportadora (3) y en seguida cargado en camión por medio del canal (4) o en vagones por medio del canal (5).

Las pizarras son almacenadas en la tolva (6) para ser cargadas en las vagonetas de mina para su empleo en la mina como relleno.

LAVADERO

El 0-80 (menudo bruto) es almacenado en la tolva (7), la cual está provista en su base de un distribuidor automático (8) que lo reparte sobre la cadena (9) para ser vertido por ésta sobre el tamiz de preclasificación (10) para su clasificación en 25-80, 8-25 y 0-8.

Lavado del 25-80 y 8-25. Estos productos son vertidos en los canales gemelos (11) provistos cada uno de dos aparatos «rheolavadores» de tipo a nivel lleno.

El primer «rheo» extrae las pizarras 25-80 y 8-25, las cuales son recogidas por la cadena doble (13) que las vierte en cabeza del canal de relavado (12).

El segundo «rheo» extrae el producto regulador de lavado, el cual es recogido por la cadena doble (14) y vertido en cabeza del canal de lavado (11).

El canal de relavado (12) está provisto de dos «rheos» tipo a nivel lleno.

El primer «rheo» extrae las pizarras definitivas 8-25 y 25-80, las cuales son recogidas por la cadena doble (15) que las vierte en las tolvas de las pizarras (16).

El segundo «rheo» extrae el producto regulador del relavado, el cual es recogido por la cadena (17) que lo vierte en cabeza del canal de relavado (12).

El carbón lavado 8-80, que se obtiene en la extremidad de los canales de lavado (11) y de relavado (12),

es enviado al tamiz de clasificación (18) para su separación en 55-80, 25-55, 8-12 y recribaduras 0-8.

El 55-80, 25-55 y el 12-55 son almacenados en las tolvas 36, 37, 38.

El 8-12 es conducido a los cangilones de la cadena (22).

Las recribaduras 0-8 son enviadas a la fosa del elevador (19) para ser tratadas nuevamente en mezcla con los finos brutos.

Lavado del 0-8. Este producto recogido por bajo del tamiz de preclasificación (10) es conducido a los cangilones de la cadena (19), que los eleva a la cabeza de la batería de lavado (20), la cual está formada por cuatro canales superpuestos provistos de aparatos «rheos» del tipo de caída libre.

El carbón lavado, que se obtiene en las extremidades de las dos canales superiores, es enviado al tamiz de agotamiento parcial (21) y de éste a los cangilones agotadores de la cadena (22) para su almacenado en las tolvas (39) y (40).

El productor regulador del lavado, obtenido en las extremidades del tercero y cuarto canal, es enviado a la fosa de la cadena (19) para ser tratado nuevamente en mezcla con los finos brutos.

Las pizarras 0-8 que son extraídas de los aparatos «rheos» del cuarto canal, son conducidas a la fosa de la cadena agotadora (23) para su almacenamiento en las tolvas (16).

Lavado de «schlamms». Las aguas cargadas de «schlamms» que provienen de purgas de las curvas de decantación (26), son recogidas por la bomba (31) que las eleva al depósito cónico de concentración (32), provisto en su base de una válvula de alimentación del canal de lavado (33).

Esta canal de lavado de «schlamms» está provista de aparatos «rheos» tipo especial.

El «schlamm» lavado obtenido en la extremidad del canal es enviado sobre dos tamices de agotamiento (34). El «schlamm» agotado es enviado al transportador (35), que los vierte en los cangilones de la cadena de finos (22) y por tanto incorporados a los finos lavados.

Las aguas con «schlamms» recogidos bajo los tamices de agotamiento (34) y los «schlamms» arcillosos extraídos por los aparatos «rheos» son evacuados

hacia las balsas de decantación exteriores, no representadas en el plano.

Carga de los productos. Los productos 55-80, 25-55, 12-25 y 0-12 almacenados en las tolvas 36, 37, 38, 39 y 40 son cargados en vagones. Estos mismos productos almacenados en las tolvas son cargados en camión.

Las pizarras 0-80 almacenadas en la tolva superior (16), son cargadas en vagonetas de mina para su utilización como rellenos en la mina, y las de la tolva inferior son cargadas en vagonetas basculadoras para ser conducidas afuera.

Circulación de las aguas. Las aguas de desbordamiento de las fosas de las cadenas (19), (22) y (23) son enviadas a las cubas de decantación (26).

Las aguas clarificadas procedentes de las cubas (26) son elevadas desde la cisterna (27) por la bomba (28) al depósito a nivel constante (29) para la alimentación de las instalaciones de lavado.

El agua clara llamada de renovación es conducida al depósito (30) y utilizada para el regado de los productos lavados sobre el tamiz de reclasificación (18) y tamices de agotamiento de «schlamms» lavados (34).

El rebose del depósito (29) vuelve a la cisterna (27) de aspiración de la bomba (28), y el rebose del depósito cónico (32) vuelve a la fosa de aspiración de la bomba (31).

Los reboses accidentales de las cisternas (24 y 27) de aspiración de las bombas (25 y 28), son enviados a las balsas de decantación exteriores.

Después de la lectura de los resúmenes de los trabajos números 164, 165 y 159, cuyos textos íntegros figuran en las páginas precedentes, se suspendió la sesión a las catorce horas para reanudarla en la tarde del mismo día.

* * *

A las cuatro de la tarde se continuó la sesión. Concedida por el Sr. Presidente la palabra a D. Higinio Guillamón éste lee el siguiente trabajo:

N.º 295. - Estudio racional de carbones

Autor: D. HIGINIO GUILLAMÓN REYES

Ingeniero Industrial

0.—PREÁMBULO

Constituye el objeto de esta comunicación dar a conocer los resultados obtenidos en el estudio individual de once variedades de carbones corrientes, a fin de distinguirlos por sus propiedades y poder transformarlos, para su utilización en la industria, del modo racional más en consonancia con sus cualidades.

Para hacer más expresiva y documentada la presentación de los materiales utilizados y de los resultados, se emplean profusamente los recursos gráficos. Para conseguir la reproducción exacta en magnitud y posición de la materia estéril o inorgánica que acompaña a los carbones y coques, acudimos con insistencia, un tanto novedosa en la práctica industrial, a obtener radiografías de las muestras que, de modo sorprendente, aclaran cada cuestión.

Se han ordenado los carbones numéricamente, según el valor de su índice de hinchamiento. Solamente del primero se hace descripción detallada de los resultados que obtuvimos en la determinación de sus propiedades físicas y químicas, al objeto de no hacer monótona la lectura de este trabajo con la relación continuada de cifras y detalles de los demás. Del conjunto de ensayos se reúnen en tablas compendiadas los valores que son los resultados.

Foto 1



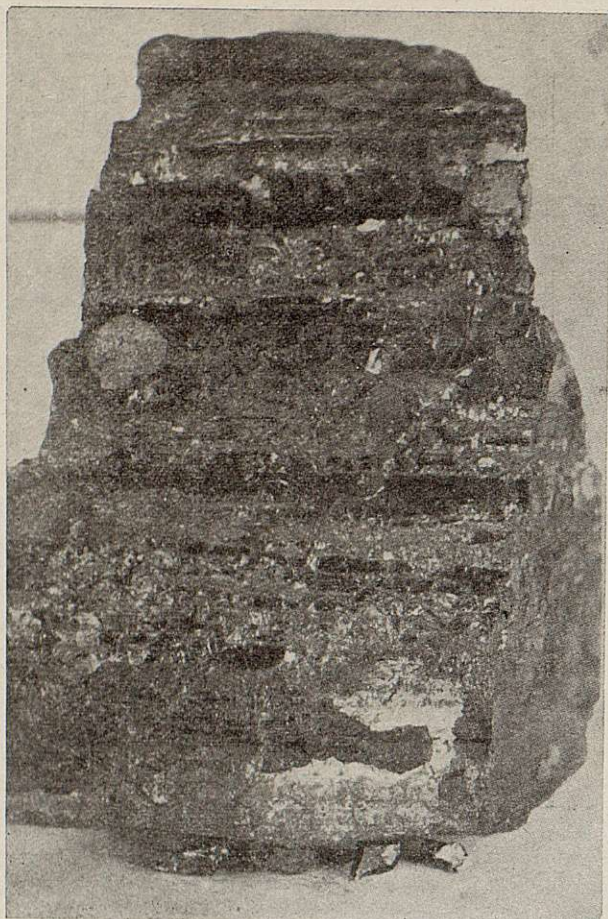


Foto 2



Foto 3

La terminología que se emplea es la normal en la tecnología de los carbones minerales, conforme a los métodos del laboratorio y de las coquerías. De los constituyentes microscópicos del carbón se hace referencia, casi exclusivamente, a la denominada «pasta»,

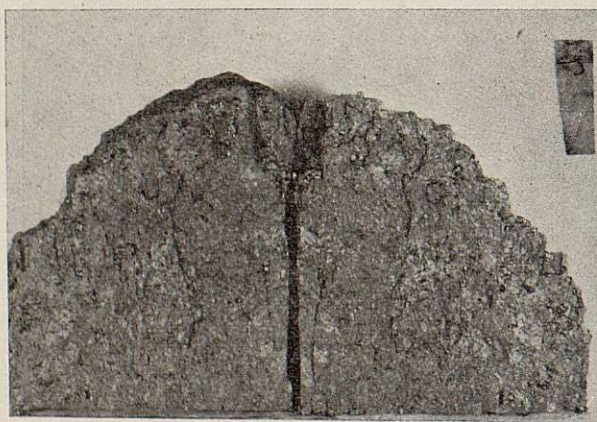


Foto 4

substancia fundamental o carbón brillante, y al fuseno, por ser reconocibles a simple vista.

Inclúyense las deducciones, resumidas, de varios ensayos de aplicaciones prácticas, en el sentido de mejorar los resultados que directamente se obtienen de carbones poco aptos para los fines de la fabricación de coque siderúrgico.

1.—RELACIÓN DE LOS CARBONES CONSIDERADOS

Carbón núm. 0.—El aspecto general del «todo-uno» es el de un carbón listado, de múltiples lechos de composición variable, de vitreno, durenó y fuseno, principalmente. Lo acompañan mucho material mixto y depósitos de pirita de hierro y de sales alcalino-térreas. Es duro, denso y de poco brillo, de bastantes cenizas y da polvo.

A continuación insertamos unas fotografías que lo

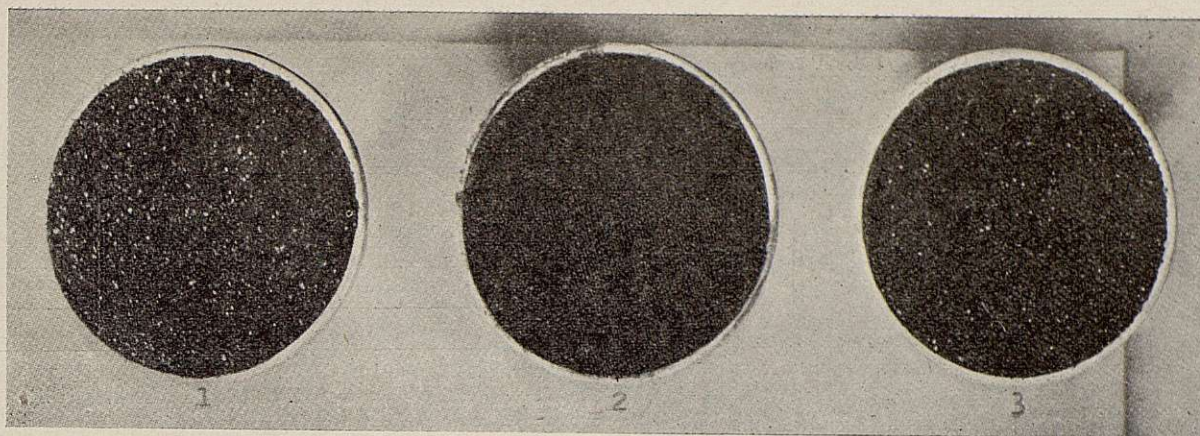


Foto 5

muestran bajo distintos aspectos. La foto 1 presenta un corte normal al plano de los lechos que se alternan según los constituyentes.

La foto 2 corresponde a otra vista del mismo carbón, en la que se manifiestan muy visibles los depósitos de pirita y de sales. La foto 3 es una radiografía del mismo trozo de la foto 2, en la que aparecen bien delimitadas zonas de materia mineral opacas a los rayos X. Se ve que la cantidad de esta materia es de cierta importancia.

La foto 4 representa la superficie de fractura por un lecho de fuseno, que se ve muy abundante.

En la foto 5 se ofrece la comparación de tres muestras en grano fino del mismo trozo de carbón, las cuales son: 1, del «todo-uno»; 2, de fuseno, y 3, de pasta.

El conjunto de determinaciones practicadas para hallar sus características las detallamos a continuación:

PROPIEDADES FÍSICAS

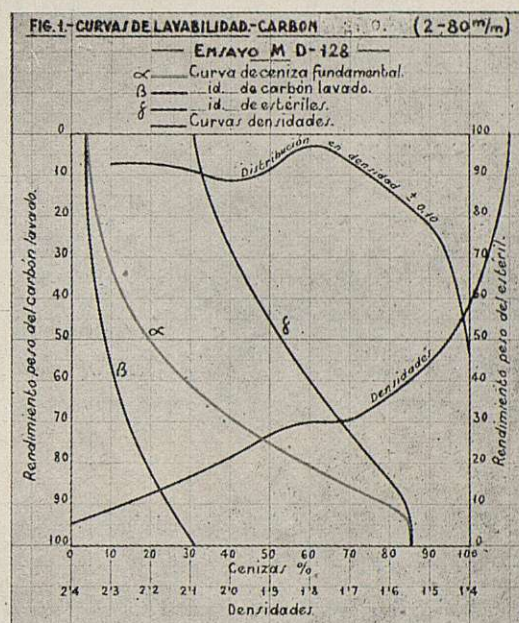
Densidad real: 1,250.

Análisis de tamizaje:

Calibre	Peso %	Cenizas	Carbón %
Mayor de 80 mm.....	11,1	37,37	11,4
De 80 — 46 »	8,9	42,12	8,2
» 46 — 35 »	7,7	36,87	7,0
» 35 — 20 »	12,2	36,25	12,6
» 20 — 15 »	5,45	34,37	5,8
» 15 — 8 »	15,25	35,12	16,1
» 8 — 2 »	14,35	34,37	15,5
» 2 — 14 »	8,1	37,00	8,3
» 14 — 20 »	3,5	38,00	3,55
» 20 — 35 »	5,2	42,37	4,05
Menor de 35 »	8,25	45,75	7,3
Totales.....	100,00	38,45 %	100,00

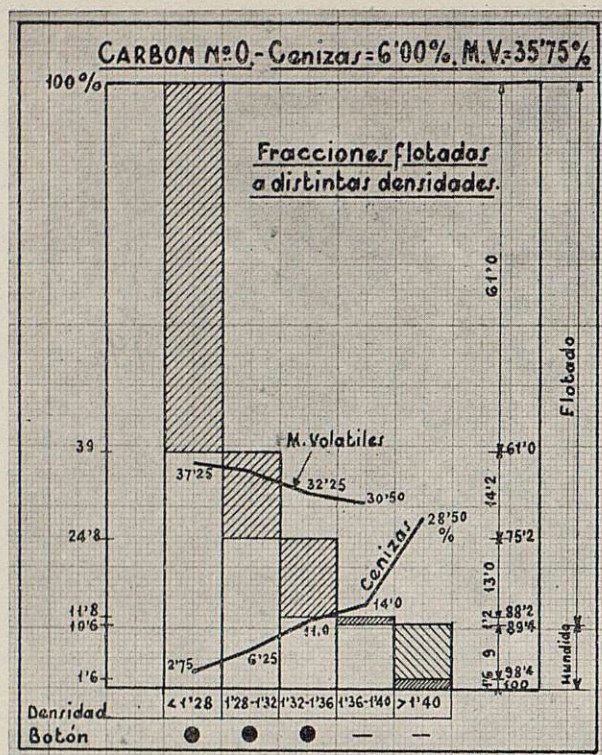
Curva de lavabilidad

Se adjunta el gráfico correspondiente a continuación:



Fraccionamiento a densidades diferentes

Densidad del líquido	Peso flotado %	Cenizas %	Mat. vols. %	Botón coque
Entrada del «todo-uno».	100,00	6,00	35,75	Sí
1,28.....	61,00	2,75	37,25	Sí
1,32.....	14,20	6,25	36,00	Sí
1,36.....	13,00	11,00	32,25	Sí
1,40.....	1,20	14,00	30,50	—
Flotado.....	89,4	4,50	37,25	—
Hundido.....	9,0	28,50	38,00	—
Pérdida.....	1,6	—	—	—
Totales.....	100,00	6,00	35,75	—

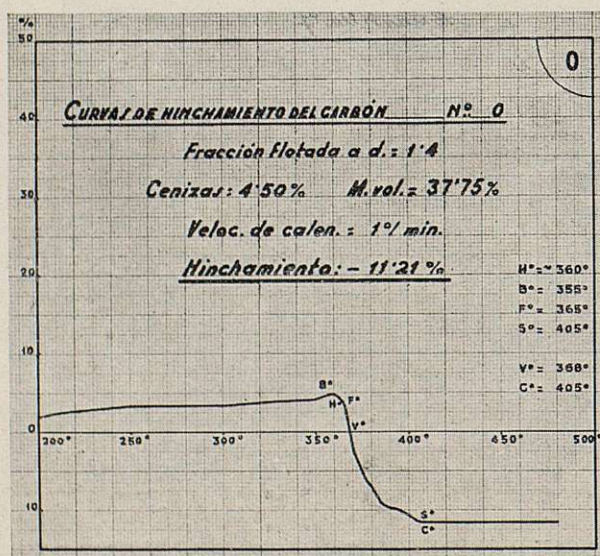


Características de la fracción flotada a $d = 1,4$

Proporción	Cenizas	Mats. vols.	Potencia calorífica	Índice hinchamiento %	Mats vols. residuo semicoquizado
89,4-95,0	4,50	36,25	5.776 cal.	— 12,21	22,07

Curva de hinchamiento de la fracción flotada a $d = 1,4$

Se adjunta a continuación y se indican los puntos críticos:



Poder aglomerante

Grano de arena	1	2	3	4
Parte no aglomerada	0,130	0,280	0,850	—

Extractos obtenidos con disolventes

Orgánicos	Inorgánicos
(Bitúmenes)	(Materias húmicas)
Pirídico = 21,50-27,80 %	0,48 %
Clorofórmico = 5,10- 8,60 %	Color siena límpido.

Estado globular

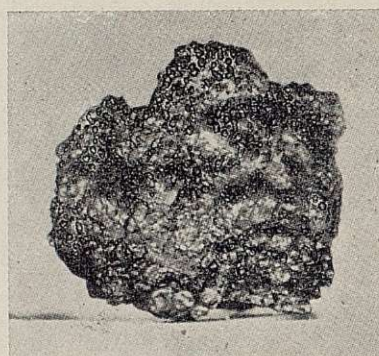


Foto 6

PROPIEDADES QUÍMICAS

Análisis

Inmediato:

Humedad	2,50 %	
S/S		
Mats. vols.	38,00 %	Potencia cal (Goutal): 7155 cal.
Cenizas	9,50 %	
Carbón fijo	52,50 %	

Elemental:

		Composición cent. sin cenizas.
Carbono... ..	70,29 %	77,58-76,34.
Hidrógeno	6,15 %	6,79- 6,33.
Nitrógeno	1,54 %	1,70- 1,90.
Oxígeno... ..	11,59 %	12,79-14,52.
Azufre combusti- ble... ..	0,93 %	Id. total. 1,14- 0,91.

	90,50	100,00-100,00.
Cenizas	9,50	
	100,00	
Azufre de sulfato... ..	0,10	
Id. combustible.	0,93	
Azufre total	1,03	

Índice de oxidación con permanganato.

Oxígeno fijado = 77,60 % (carbón de 12,75 % de cenizas y 36,50 de materias volátiles).

Productos de destilación

Análisis medio.	{	CO ₂ =	4,40 %	Potencia calorífica: 4.621 cal.
		O =	0,50 »	
		CO =	11,20 »	
		CH ₄ =	33,55 »	
		H =	33,95 »	
		N =	16,40 »	
		<hr/>		

Rendimiento en gases	245 litros/kg.
Idem íd. aguas amoniacales	159 gr/kg.
Idem íd. alquitrán bruto	50 gr/kg.
Idem íd. benzol bruto	6 gr/kg.
Idem íd. amoniaco total	2.518 gr/kg.
Idem íd. sulfato amónico	9.775 gr/kg.
Idem íd. coque total	68,3 %.
Idem íd. coque t. g.	92,8 %

Aspecto del coque: Aglomerado, interior, poco aceptable.

Análisis de las cenizas

SiO ₂	49,20 %	Si = 22,95 %
Al ₂ O ₃	37,55 »	Al = 19,97 »
Fe ₂ O ₃	6,85 »	Fe = 4,79 »
CaO	2,40 »	Ca = 1,71 »
MgO	1,80 »	
P	0,24 »	

Punto de fusión

$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} = \frac{86,75}{0,763} \left. \vphantom{\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2}} \right\} 1.600^\circ \text{ (Según ábaco).}$$

Coefficiente de reactividad del carbón

$$\frac{\text{Si} + \text{Al}}{\text{Fe} + \text{Ca}} = 0,66$$

Clasificación

De los resultados que anteceden se deduce que este carbón es pobre en carbono (72,7 %), rico en hidrógeno (6,00 %) y muy rico en oxígeno, (13,92 %). Los valores de las relaciones características son:

$$\frac{\text{C}}{\text{H}} = 12,05 \quad \text{,,} \quad \frac{\text{O} + \text{N}}{\text{H}} = 4,17 \quad \text{,,} \quad \frac{\text{C}}{\text{O}} = 5,25$$

los cuales, según las clasificaciones más acreditadas, los denominan como:

Hulla seca de llama larga (Grüner y Carzan).

Carbón sub-bituminoso (Hickling).

Carbón per-bituminoso (Seyler).

Sus constituyentes petrográficos están representados por esporas, principalmente, y, en menor proporción, por cutículas, características de las hullas de cutina, que tienen muchas materias volátiles y dan un coque pulverulento.

Del tratamiento con disolventes se han obtenido abundantes compuestos oxidados. Expuesto al aire se oxida en poco tiempo.

El valor del índice de hinchamiento es negativo y al ensayarlo se observa que empieza a destilar antes de fundir; propiedad contraria a la coquización, que



Foto 7

requiere que la fusión empiece a temperatura menor que la del desprendimiento de materias volátiles.

Carbón núm. 1.—Listado, bastante uniforme, abundante en pasta brillante, flojo, desmenuzable. Tiene inclusiones de pirita y de pizarra. En grano es brillante, sin polvo. Con la espátula funde un poco superficialmente y da humos abundantes y llamas. La foto 7 representa la sección de fractura, según un plano normal a los estratos. La foto 8 es una radiografía de un trozo del mismo.

Carbón núm. 2.—Está formado por capas delgadas de pasta brillante, con improntas circulares hasta de 5 mm. En grano brilla poco. Es duro y da polvo negro intenso. Con la espátula funde superficialmente y no suelda; da llama larga y mucho humo. La foto 9 per-

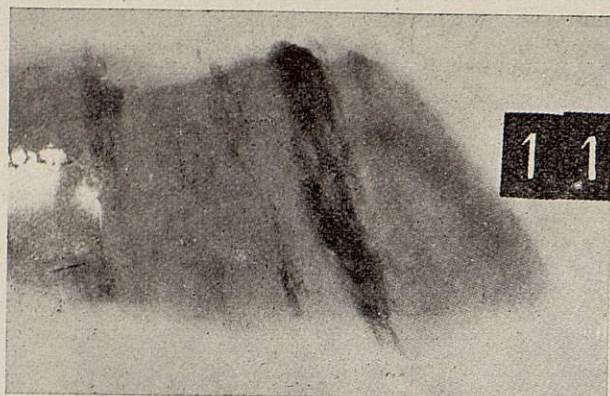


Foto 8

mite ver el aspecto de una superficie de fractura. La foto 10 es la radiografía del mismo trozo.

Carbón núm. 3.—Presenta pasta semibrillante abundante; es duro. Con la espátula funde bien, aglomerándose, arde con llama corta y da poco humo.

La foto 11 es la de una superficies de fractura normal a los estratos, y la foto 12 es una radiografía de un fragmento del mismo carbón.

Carbón núm. 4.—Pasta brillante abundante. Flojo, se desmenuza fácilmente y da un grano poliédrico. Con la espátula funde superficialmente y arde con bastante humo. La foto 13 representa una sección de fractura natural, normal a los estratos, y la foto 14 es una radiografía del mismo carbón.

Carbón núm. 5.—Casi todo pasta brillante. Duro, poco desmenuzable. El grano es brillante y poliédrico. Con la espátula no funde y da poco humo. En la foto 15 se distingue bien la disposición de los delgados lechos de pasta, su fractura concoidea y la homogenei-



Foto 10

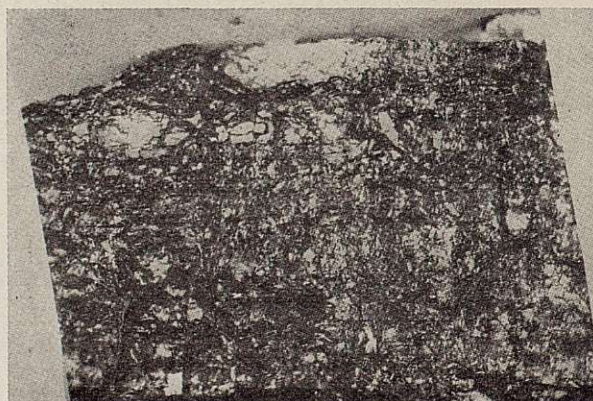


Foto 11



Foto 9

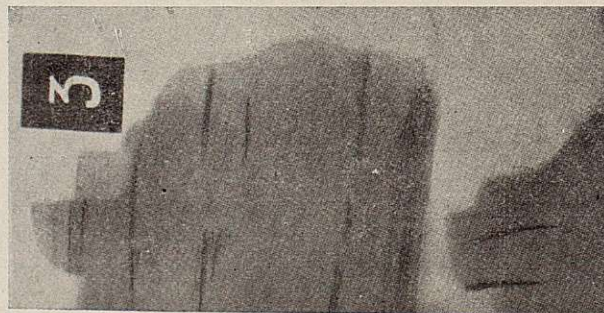


Foto 12



Foto 13

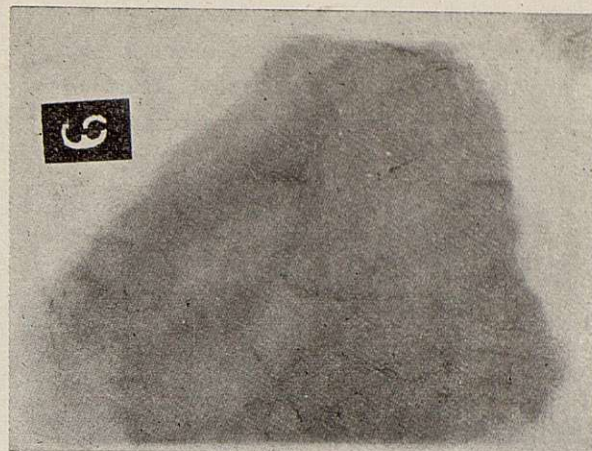


Foto 16

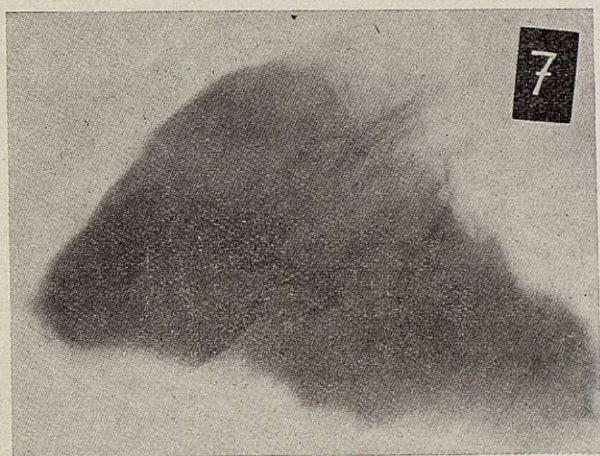


Foto 14



Foto 15



Foto 17

dad de composición y falta de impurezas, de modo que resulta un carbón muy limpio. En la foto 16, que es una radiografía del mismo trozo, aparecen leves líneas de materia inorgánica incorporada, lo cual explica que sea un carbón muy limpio.

Carbón núm. 6.—Presenta pasta brillante abundante y listas semibrillantes y mate. Tiene algo de pirita y sales y borrasco, y da un carbón poco limpio. Con la espátula funde bien, aglomerándose; da llama corta. La foto 17 presenta un trozo en el que se aprecia su composición listada, y en la foto 18, que es la radiografía del mismo, se ven las inclusiones de materia mineral, bastante regularmente interpuestas.

Carbón núm. 7.—Es negro intenso, lustroso, de aspecto uniforme, quebradizo, se desmenuza. Tiene pasta abundante y listas finas de fuseno. En grano es medianamente brillante. Con la espátula funde bien y se

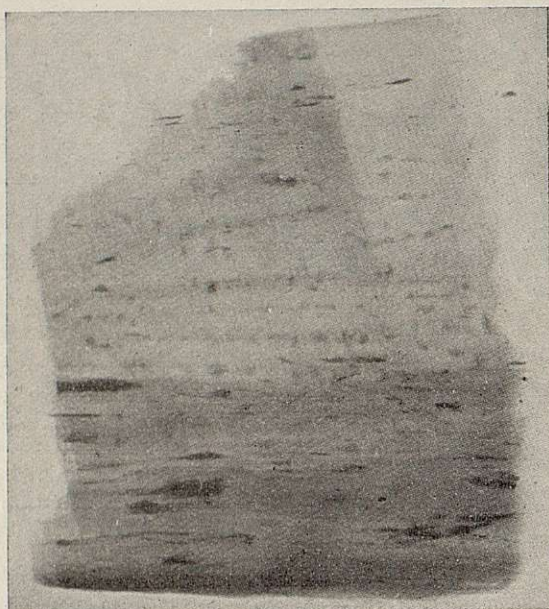


Foto 18

reblandece, y suelda; da llama. La foto 19 lo representa en una superficie de fractura normal a los estratos. La foto 20 es una radiografía en la que se aprecia una composición muy por igual del mismo.

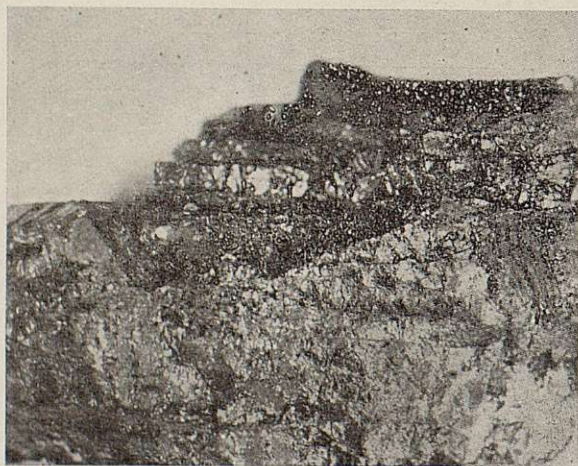


Foto 19

Carbón núm. 8.—El «todo-uno» de este carbón es listado, uniforme, negro intenso, medianamente bri-

llante, blando, fácilmente desmenuzable; contiene vitreno, durenó y fuseno, que unta los dedos. En grano

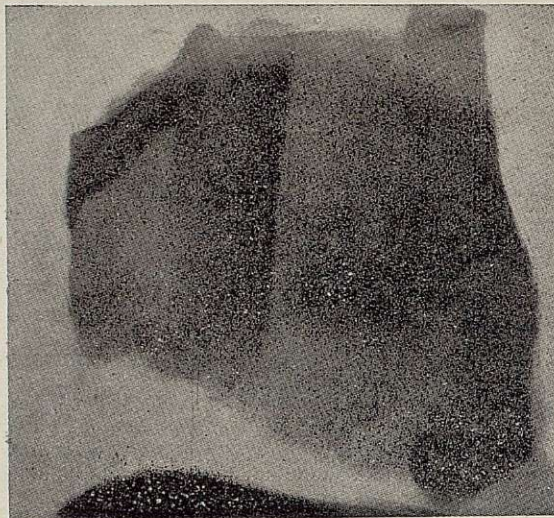


Foto 20

es semibrillante con marcado aspecto de limpio. Presenta inclusiones de pirita y sales e improntas de esporas. La foto 21 lo representa.

Carbón núm. 9. — Pasta brillante muy mezclada. Contiene abundante sal blanca interpuesta y pirita, que ocasionan elevación importante del contenido de

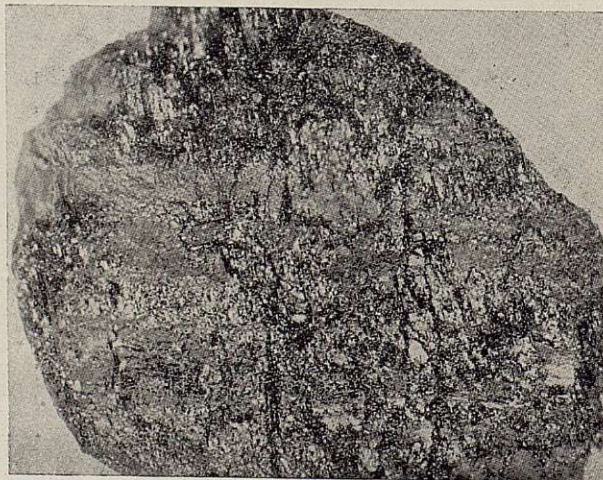


Foto 21

cenizas. Con la espátula no funde ni da llama. Es antracitoso.

La foto 22, que le corresponde, muestra diseminada, entre la pasta brillante, una masa casi mate de

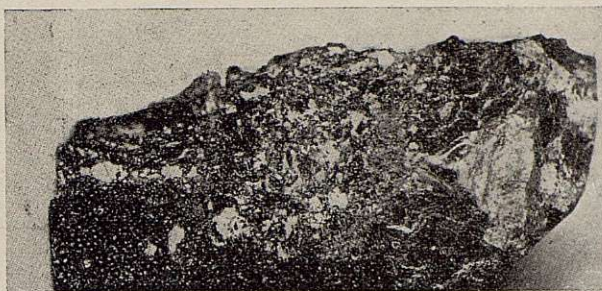


Foto 22

grano fino. La foto 23 es una radiografía del mismo carbón, que revela abundante la existencia de materia estéril.

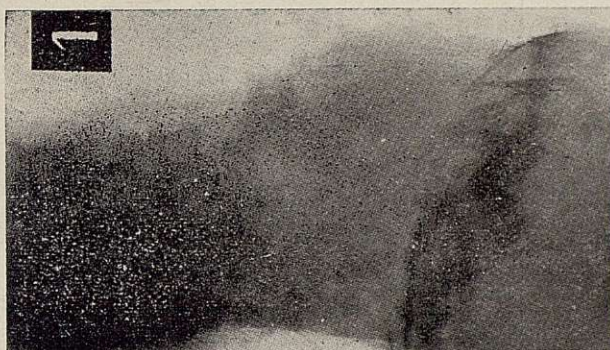


Foto 23

Carbón núm. 10. — Casi todo pasta muy brillante, fundamentalmente, sin cenizas apenas, por lo que constituye casi un carbón puro. Presenta superficies especulares, negro intenso, de fractura concoidea, característica. No funde ni da llama; es antracitoso.

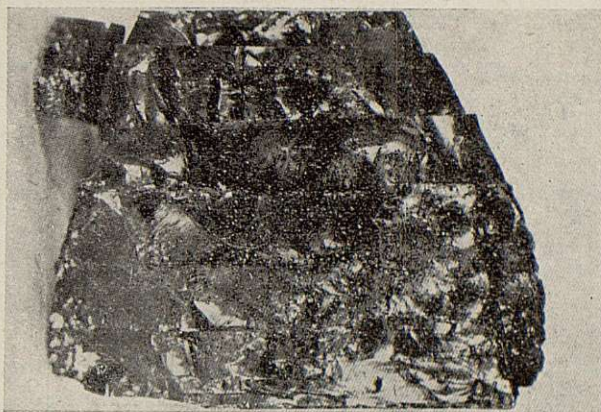


Foto 24

En la foto 24 se presenta una sección normal a los planos de los estratos, entre los cuales hay precipitadas finas láminas de sales. La foto 25 es una radiografía del mismo carbón, que muestra la distribución de la escasa materia mineral.

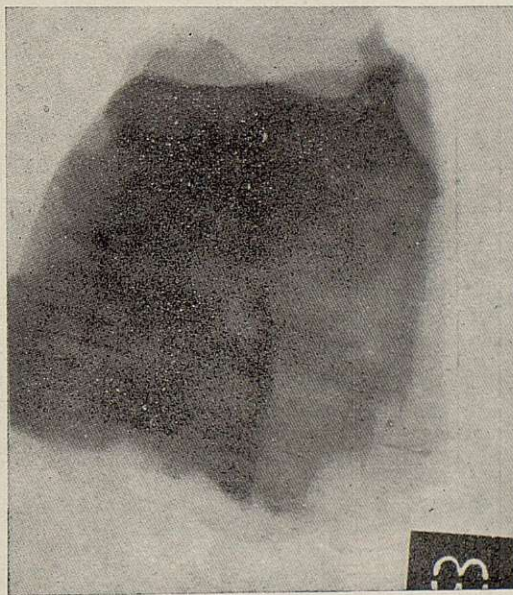


Foto 25

RESÚMENES

1-1.—CARACTERÍSTICAS DE LOS «TODO-UNO» A D = 1,4.—Se inserta a continuación la tabla correspondiente:

Carbones	Densidad r.	Proporción	Cenizas	Materias vols.	Carbón fijo	Potencia calorífica
HULLAS:						
<i>Carbón núm. 0.</i>						
Entrada	1265	100,0 %	6,00 %	35,75 %	58,25 %	5.776 Cal.
Flotado a 1,4	—	95,0	4,50	37,75	59,25	—
Hundido a 1,4	—	5,0	25,50	—	—	(Malher)
<i>Carbón núm. 1.</i>						
Entrada	1340	100,0 %	16,00 %	33,50 %	50,50 %	6.821 Cal.
Flotado a 1,4	—	77,4	9,25	37,00	53,75	7.384
Hundido a 1,4	—	26,6	45,25	24,00	33,75	(Goutal)
<i>Carbón núm. 2.</i>						
Entrada	1300	100,0 %	4,00 %	35,50 %	60,50 %	8.047 Cal.
Flotado a 1,4	—	99,5	4,00	35,50	60,50	8.047
Hundido a 1,4	—	0,5	—	—	—	—
<i>Carbón núm. 3.</i>						
Entrada	1280	100,0 %	14,00 %	26,25 %	59,75 %	7.644 Cal.
Flotado a 1,4	—	81,2	10,75	27,50	61,75	7.714
Hundido a 1,4	—	18,8	36,00	22,00	42,00	—
<i>Carbón núm. 4.</i>						
Entrada	1265	100,0 %	7,50 %	19,00 %	73,50 %	8.090 Cal.
Flotado a 1,4	—	94,8	4,25	20,00	75,75	8.335
Hundido a 1,4	—	5,2	41,50	15,00	—	—
<i>Carbón núm. 5.</i>						
Entrada	1250	100,0 %	4,50 %	18,00 %	77,50 %	8.335 Cal.
Flotado a 1,4	—	98,4	3,50	18,50	78,25	8.412
Hundido a 1,4	—	1,6	36,25	18,25	—	—
<i>Carbón núm. 6.</i>						
Entrada	1325	100,0 %	17,75 %	22,00 %	60,25 %	7.195 Cal.
Flotado a 1,4	—	96,9	12,50	23,50	64,00	7.613
Hundido a 1,4	—	3,1	—	—	—	—
<i>Carbón núm. 7.</i>						
Entrada	1250	100,0 %	19,00 %	27,25 %	53,75 %	6.996 Cal.
Flotado a 1,4	—	80,8	7,00	34,00	59,00	7.898
Hundido a 1,4	—	19,2	44,00	21,50	—	—
<i>Carbón núm. 8.</i>						
Entrada	1300	100,0 %	15,00 %	27,50 %	57,50 %	7.355 Cal.
Flotado a 1,4	—	90,0	4,50	30,75	64,75	7.955
Hundido a 1,4	—	10,0	39,00	21,50	—	—
<i>Carbón núm. 9.</i>						
Entrada	1350	100,0 %	20,75 %	9,50 %	69,75 %	6.907 Cal.
Flotado a 1,4	—	14,1	7,00	8,50	84,50	8.059
Hundido a 1,4	—	85,9	23,50	9,25	—	—
<i>Carbón núm. 10.</i>						
Entrada	1350	100,0 %	10,50 %	9,50 %	80,00 %	7.652 Cal.
Flotado a 1,4	—	62,65	6,75	9,00	84,25	8.027
Hundido a 1,4	—	37,35	14,25	10,00	—	—

1-2.—FRACCIONAMIENTO A DENSIDADES ENTRE 1,28 Y 1,40.—Se ha hecho la clasificación de las fracciones obtenidas a las diferentes densidades de 1,28, 1,32, 1,36, 1,40 y hundido, y se ha ensayado el botón de cada una. Indudablemente, el fraccionamiento del «todo-uno» de carbón es como sigue:

2.^a El carbón núm. 0 también difiere de los demás, pues, si bien se asemeja al núm. 1, en cambio da fracciones en proporción discordante en el sentido de ser más ligero.

3.^a Un caso muy particular es el carbón núm. 5, que flota el 90 % a $d = 1,4$ y está constituido por

Densidad	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %	5 %	6 %	7 %	8 %	9 %	10 %	
1,28	61,0	6,2	15,6	58,50	50,4	90,0	76,7	21,4	72,6	—	—	(1)
1,32	14,2	60,2	81,8	31,7	35,1	5,6	3,4	30,6	7,7	—	—	(2)
1,36	13,0	13,8	1,4	6,8	11,4	3,1	13,0	0,2	5,0	2,6	17,8	(3)
1,40	1,2	6,3	0,2	1,3	7,0	0,2	3,8	5,4	3,2	11,2	19,4	(4)
Hundido	9,0	11,2	0,1	1,1	0,3	0,8	1,6	34,0	9,5	85,6	62,4	(5)
Flotado	89,4	86,5	99,0	98,3	94,9	98,9	96,9	63,6	—	13,8	37,2	
Pérdida	1,6	2,3	0,9	0,6	2,1	0,3	1,5	2,4	1,5	0,6	0,4	
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Materias volátiles,	43,25	37,5	37,0	28,5	20,0	19,0	23,25	27,0	28,5	9,5	9,5	
Cenizas	6,0	9,5	5,0	6,25	6,0	3,25	5,0	14,25	15,0	30,75	10,5	

Características.—(1) Carbón brillante de 3,5 a 5,25 % de cenizas.—(2): Carbón brillante de 4,5 a 9,0 % de cenizas.—(3): Carbón brillante y mate de 6,5 a 12,75 % de cenizas.—(4): Carbón brillante y fuseno de 10,5 a 18,0 % de cenizas.—(5): Carbón brillante, fuseno y estériles de 11,5 a 46 % de cenizas.

Observaciones

1.^a Los resultados obtenidos con los carbones números 9 y 10 ponen de manifiesto que ambos difieren fundamentalmente de todos los demás y que no pueden compararse con ellos. Son de más densidad, pocas materias volátiles y carácter antracitoso; dan la mayor proporción de hundido a $d = 1,4$.

pasta brillante casi totalmente; hecho que coincide con las características del residuo de semicoque y con los botones que produce.

Los botones obtenidos de cada fracción los representamos correlativamente dispuestos en la fotografía número 26, siguiente:

- 1.—«Todo-uno».
- 2.—Flotado $d = 1,28$.
- 3.— » $d = 1,32$.
- 4.— » $d = 1,36$.
- 5.— » $d = 1,40$.
- 6.—Hundido.

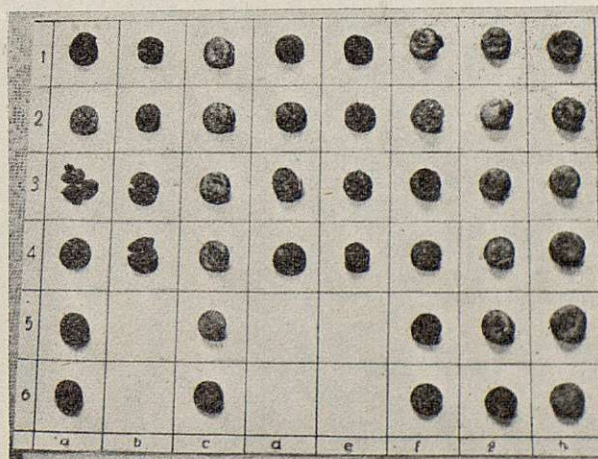


Foto 26

Los caracteres de cada botón se observan directamente de la fotografía, cuyas conclusiones son:

Columna	Carbones	Conclusiones
a	Núm. 1	Ninguno de los botones es de coque compacto. Las dos fracciones inferiores a $d = 1,32$ son las más aceptables.
b	Núm. 2	Ninguno de los botones tiene hinchamiento apreciable. Todas las fracciones dan polvo. No sirve para coque.
c	Núm. 3	Coquizan bien las fracciones inferiores a $d = 1,32$. Es aceptable y da un polvo hasta las fracciones a $d = 1,40$, o sea, el todo uno hasta $d = 1,40$.
d	Núm. 4	Sólo aceptable la fracción a $d = 1,20$; con más polvo hasta $d = 1,32$. Es de menos fracciones coquizantes que el anterior.
e	Núm. 5	Todas las fracciones de escaso hinchamiento y dan polvo. Insuficiente aptitud para coque.
f	Núm. 6	Funden y coquizan bien las fracciones hasta $d = 1,36$. Hasta $d = 1,40$, y dan algo de polvo. El «todo-uno» integra las cualidades de todas las fracciones y da un coque aceptable.
g	Núm. 7	Funden e hinchan bien todas las fracciones hasta $d = 1,40$, y dan un coque poroso. El hundido a $d = 1,4$ no es apto por sí sólo. El «todo-uno» da un coque aceptable.
h	Núm. 8	Funde, hincha y da un coque esponjoso, gris brillante sin polvo, en todas las fracciones; el hundido a $d = 1,4$ proporciona, incluso, un coque consistente.

1-3.—ÍNDICE DE HINCHAMIENTO. — Se construyen las curvas de hinchamiento señalando los puntos críticos en el proceso de fusión de cada carbón, designando por:

H°: la temperatura a que comienza a percibirse el desprendimiento de gases.

F°: la temperatura de comienzo de fusión.

B°: la temperatura de hinchamiento máximo.

V°: la temperatura a que el volumen del carbón en tratamiento es igual al volumen de partida.

C°: la temperatura de la contracción máxima o volumen mínimo del carbón durante el ensayo, si llega a ser menor que el de partida.

S°: la temperatura a que queda estabilizado el volumen de carbón después de haber sobrepasado el estado plástico y se solidifica nuevamente.

De la clasificación de los valores de estos puntos críticos de las curvas correspondientes a las fracciones flotadas a $d = 1,4$, que son con las que se ha operado, por considerarlas las más semejantes a un carbón lavado de utilización industrial, y, por consiguiendo, las que mejor pueden representar a cada uno de ellos, se ha deducido la tabla inserta a continuación, en la que se incluyen datos nuevos de gran interés, como son las materias volátiles de los semicoques que resultan de los ensayos con el dilatómetro, al someter cada carbón hasta la temperatura de 480°.

Carbón núm.	Materias volátiles sin cenizas			Puntos críticos						Zona fusión S.° - B.°	Índice de hinchamiento
	Carbón	Semicoque	Diferencia	F.°	B.°	V.°	C.°	S.°	F.° - B.°		
<i>Hullas</i>	%	%	%								%
1	40,77	22,07	18,70	355°	365°	368°	405°	405°	- 10°	40°	- 11,21 (1)
2	39,80	21,38	18,42	365°	375°	405°	440°	440°	- 10°	65°	+ 4,61 (2)
3	37,00	19,21	17,79	360°	365°	425°	425°	425°	- 5°	80°	+ 5,26 (3)
4	30,81	18,57	11,43	355°	380°	394°	395°	395°	- 25°	15°	+ 7,55 (4)
5	20,88	11,64	9,24	395°	415°	No pasa	425°	425°	- 20°	10°	+ 8,88 (5)
6	19,17	12,56	6,61	395°	420°	»	425°	425°	- 25°	5°	+ 10,55 (6)
7	29,14	17,41	11,73	450°	390°	410°	415°	450°	+ 60°	60°	+ 38,48 (7)
8	36,56	15,94	20,62	405°	360°	377°	380°	415°	+ 45°	55°	+ 109,71 (8)
8	31,60	15,34	16,26	400°	360°	No pasa	465°	465°	+ 40°	110°	+ 382,28 (9)
<i>Antracitosos</i>											
9	10,75	9,14	1,61	350°	No fund.	No pasa	350°	350°	-	-	+ 4,86 (10)
10	10,96	9,92	1,04	420°	»	»	420°	420°	-	-	+ 5,12 (11)

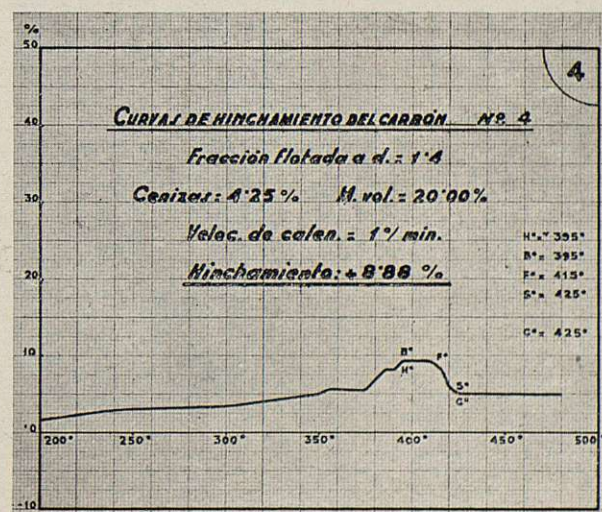
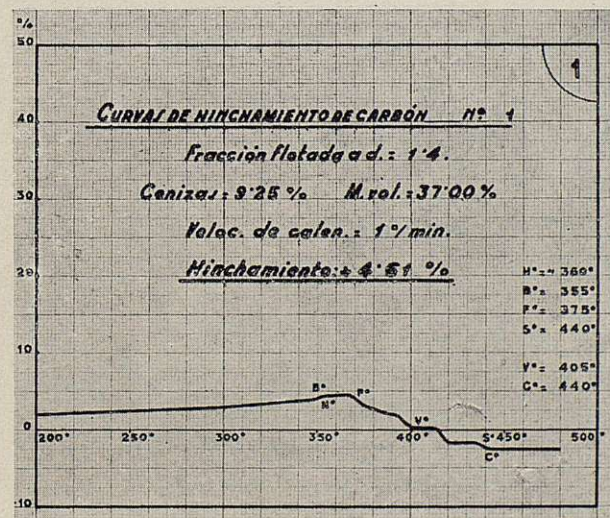
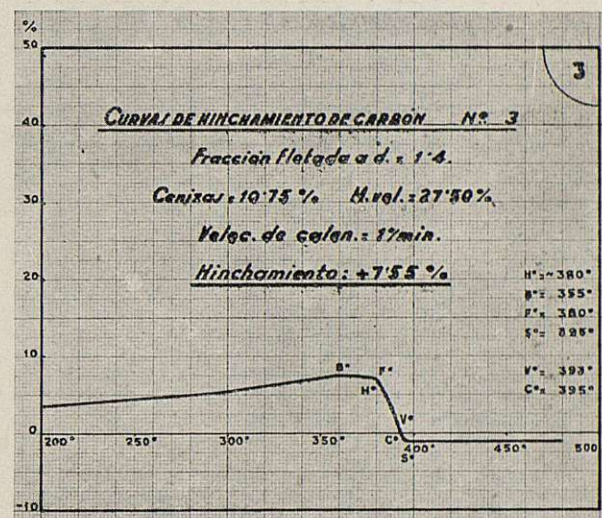
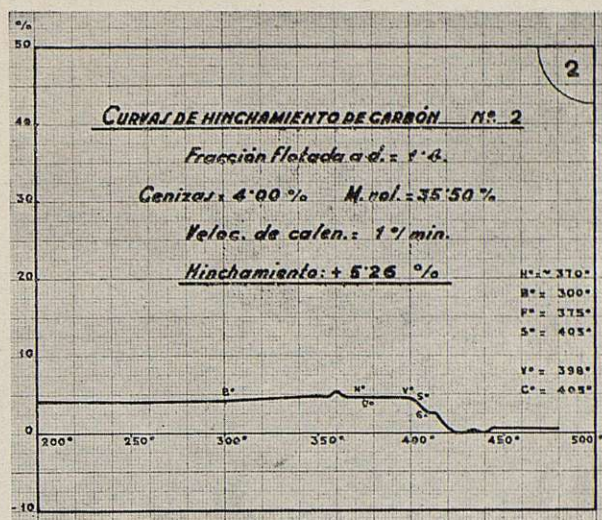
Características.—(1): No coquiza.—(2): No coquiza.—(3): No coquiza.—(4): Medio coquizante.—(5): Menos coquizante.—(6): No coquiza.—(7): Coquizante.—(8): Más coquizante.—(9) Muy coquizante.—(10): No coquiza.—(11): No coquiza.

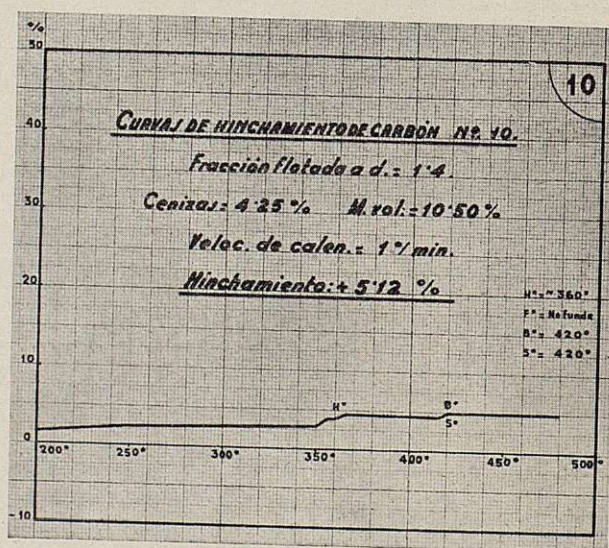
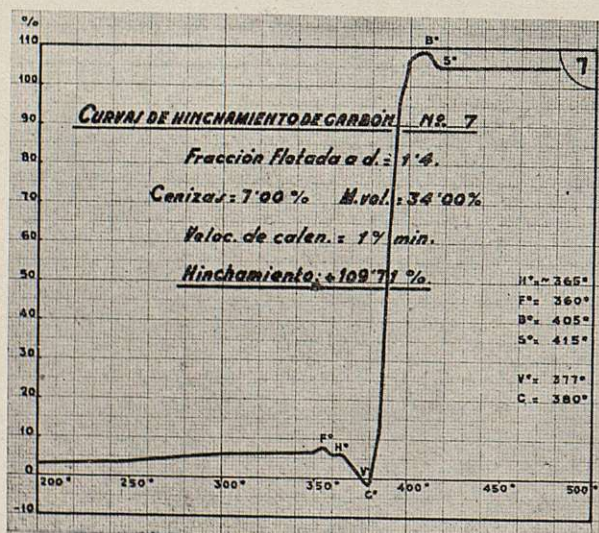
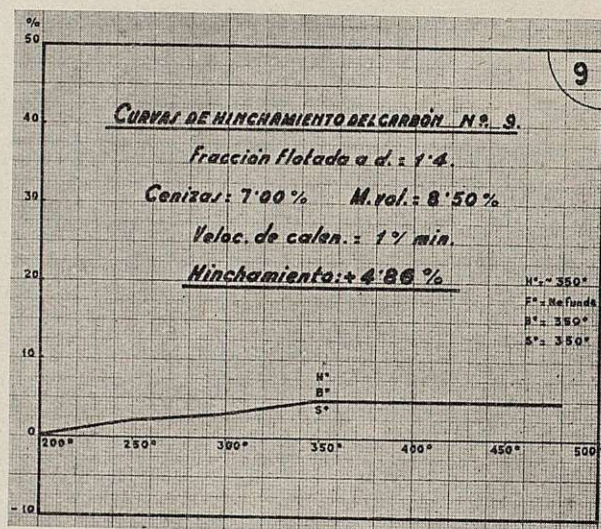
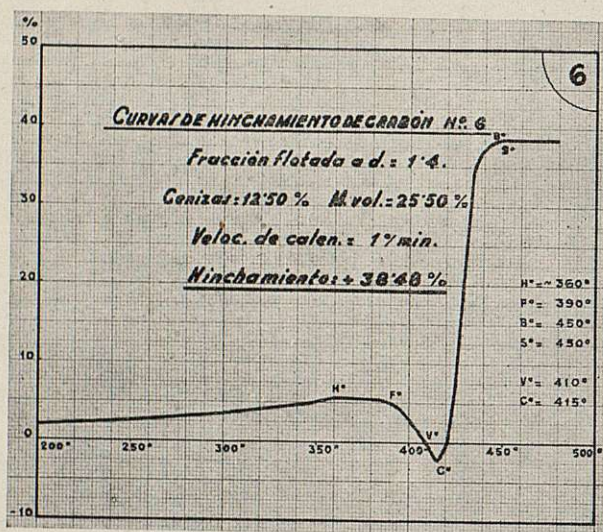
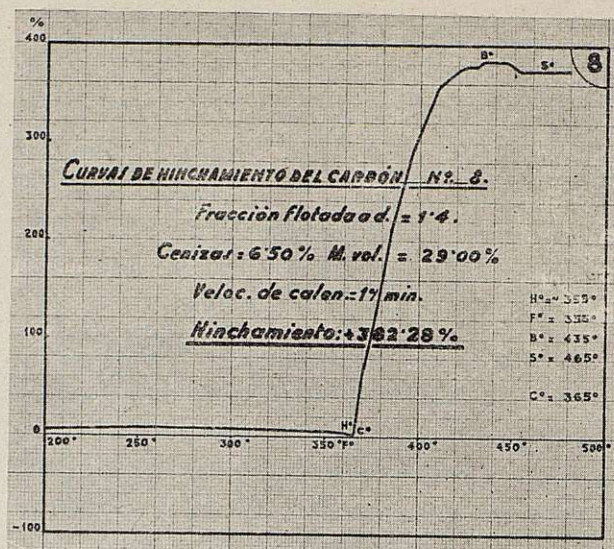
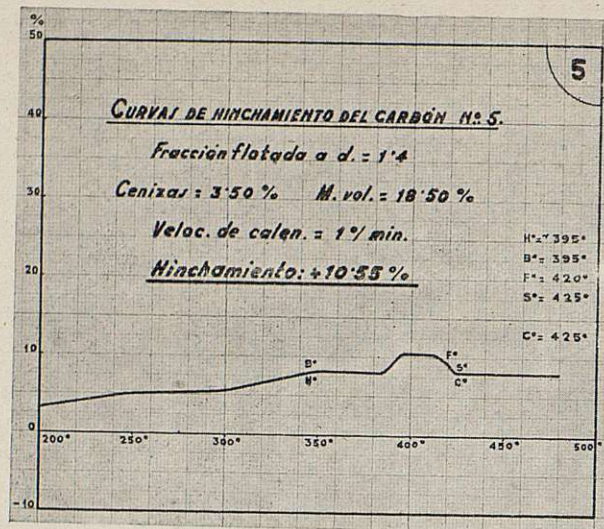
El contenido de materias volátiles del residuo de semicoque da una indicación relativa de las fuerzas que se originan en la masa de carbón al final del proceso de coquización, y representa, según Arnu, la tendencia a la fisuración del coque que se obtenga del carbón ensayado, y la diferencia de las mismas constituye una medida indirecta de la posible contracción del carbón.

Se observa como muy significativo el hecho de que los carbones del 0 al 5, inclusive, funden a temperatura F° superior a aquella B° en que alcanzan el hinchamiento máximo; por consiguiente, la fusión tiene lugar a mayor temperatura que el comienzo de la destilación, lo cual es motivo de que estas hullas no fundan completamente. Por el contrario, los carbones núms. 6, 7 y 8 tienen sus temperaturas de fusión F° inferiores a las de su hinchamiento máximo B° , o sea, que funden antes de empezar a destilar y dan buen coque enteramente fundido y no frágil; son, pues, hullas coquizantes.

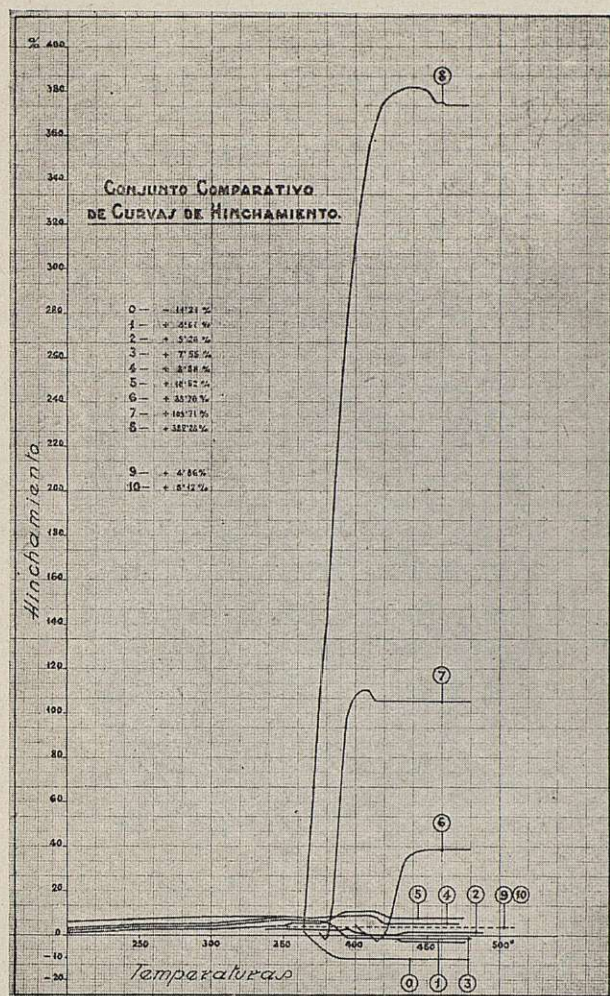
En las materias volátiles de las hullas se señala un punto anguloso entre los carbones núms. 5 y 6, que separa dos grupos de carbones distintos.

A continuación se dan las representaciones de las curvas de hinchamiento de los carbones flotados, fracción de $d = 1,4$.





Finalmente, se agrupan en un solo gráfico las 11 curvas de los carbones considerados para su comparación.



Se observan diferentes tipos de curvas, que cabe clasificar así:

1.º Grupo ... { Carbón núm. 0. }
 { Carbón núm. 1. }
 { Carbón núm. 2. }
 { Carbón núm. 3. }
 { Carbón núm. 4. }
 { Carbón núm. 5. }
 { Carbón núm. 6. }
 { Carbón núm. 7. }
 { Carbón núm. 8. }
 { Carbón núm. 9. }
 { Carbón núm. 10. }

Pertenecen a hulla de fusión incompleta, que no hinchán, dan coque frágil pulverulento. El carbón núm. 0 presenta menos zona de viscosidad y mayor rapidez de contracción.

Intermedio ... Carbón núm. 2.

Intermedio ... Carbón núm. 3.

2.º Grupo ... { Carbón núm. 4. }
 { Carbón núm. 5. }
 { Carbón núm. 6. }
 { Carbón núm. 7. }
 { Carbón núm. 8. }
 { Carbón núm. 9. }
 { Carbón núm. 10. }

Pertenecen a hulla que funden, de hinchamiento medio. Zona de fusión muy corta.

3.º Grupo ... { Carbón núm. 6. }
 { Carbón núm. 7. }
 { Carbón núm. 8. }

Pertenecen a hulla que funden bien, de gran hinchamiento. La zona de fusión es muy reducida en los carbones números 6 y 7, más extensa en el carbón núm. 8. Por consiguiente, más brusco el hinchamiento en los dos primeros.

4.º Grupo ... { Carbón núm. 9. }
 { Carbón núm. 10. }

Pertenecen a carbones que no funden; no dan coque.

1-4.—ESTUDIO DEL RESIDUO DE SEMICOQUE QUE RESULTA DEL ENSAYO DE HINCHAMIENTO.—El residuo resultante de someter la muestra de carbón a un calentamiento progresivo hasta 480°, es, después de haber sobrepasado el intervalo de fusión, un carbón alterado que ha perdido, además de sus cualidades plásticas, parte de las materias volátiles. Del ensayo en el dilatómetro se recoge un residuo que puede ser pulverulento, o un cilindrito desmoronable de carbón aglomerado o de semicoque, según que las hulla tratadas sean fusibles o no.

Cilindros

Del ensayo de los once carbones considerados, los residuos obtenidos se pueden clasificar como sigue:

Dan cilindrito fundido, compacto, no desmoronable: carbones núms. 3, 4, 6 y 7.

Dan cilindrito fundido, poroso: carbones números 6 y 7.

Dan cilindrito fundido, muy poroso: carbones números 7 y 8.

Dan cilindrito aglomerado, desmoronable fácilmente: carbones núms. 0, 1 y 2.

Dan sólo polvo: carbones núms. 9 y 10.

Estos resultados los presentamos, para su posible comparación visual, en la fotografía inserta a continuación. En ella, los cilindritos pertenecen, por orden de su hinchamiento, a los carbones siguientes:



Foto 27

Núm. 1.—Carbón núm. 1. Se ve incompleto, debido o que se desmorona con sólo tocarlo, dejando sueltos los granitos de carbón, que ni siquiera han podido aglomerarse.

Núm. 3.—Carbón núm. 2. Se ve con los bordes perdidos por ser muy inconsistente, desmoronable y da polvo.

Núm. 5.—Carbón núm. 3. Cilindro bien formado, duro, consistente; el carbón adquiere bien la fusión y cierta fluidez e hinchamiento.

Núm. 7.—Carbón núm. 4. Cilindro poco más hinchado que el anterior.

Núm. 9.—Carbón núm. 5. Cilindro poco consistente, se ve partido y con los cantos redondeados, desmoronable, da polvo.

Núm. 11.—Carbón núm. 6. Denota muy bien este cilindro, enteramente fundido y contraído lateralmente, el proceso de plasticidad. Se ve que ha pasado por una fusión completa y rápida, se contrae, pierden los granos su individualidad y se sueldan; el desprendimiento de gases ha dejado una zona de poros bien característica en la zona superior, y se aprecia el aumento de volumen producido por el hinchamiento.

Núm. 13.—Carbón núm. 7. Cilindro muy poroso y de gran volumen, enteramente fundido. No está completo y se ve partido por causa de que hinchó mucho y se adhirió a las paredes del tubo del dilatómetro, por lo que es preciso golpearlo para sacarlo.

Parte superior transversal (sin número). — Carbón número 8. Malla frágil, de enormes poros, hasta de unos 6 mm. de diámetro. No está completo. Corresponde a una muestra de hulla de un hinchamiento extraordinario, completamente fundida y plástica.

Núm. 15.—Carbón núm. 0. Se ve un cilindro más negro o menos gris que sus inmediatos, con los cantos redondeados. Se aprecia el grano en la superficie lateral exenta de poros producidos por el escape de gases. Se asemeja en aspecto y estructura al de los números 1 y 3.

Finalmente, los carbonos núms. 9 y 10 no se consolidan en cilindros ni aún aglomeran. Dan todo polvo, por lo que no pueden fotografiarse.

Secciones rectas

De cada cilindro practicamos a la mitad de su altura, aproximadamente, una sección recta para observar en la superficie de fractura el aspecto resultante, aglomerado o fundido, de los granitos de carbón. Mirada con el microscopio puede apreciarse:

Carbón núm. 0.—Fractura angulosa, granular, fácil de partir, da polvo, unta los dedos. Foto 28.

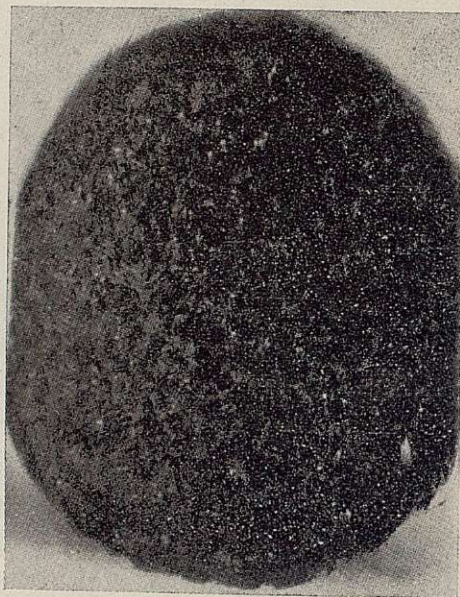


Foto 28

Se ven granos, lo mismo brillantes que mate, grandes y pequeños, con sus aristas vivas, aglomerados ligeramente por materia alquitranosa. Abundan los granos brillantes y polvo fino negro, mate intenso. La poca materia que adquiere viscosidad es insuficiente para constituir una estructura consistente que aprisione los granos infusibles, los cuales, no obstante, se ven algunos recubiertos de materia alquitranosa, como testimonio de haber pasado por un estado de reblandecimiento y fusión globular. La mayoría de los granos tienen en la superficie como gotitas microscópicas de substancia exudada. La superficie pulida no queda lisa, debido a que los granos se sueltan al roce, y, por ser la soldadura inconsistente, se desmorona. El conjunto de polvo se ve formado de granos angulosos de fractura concoidea, sin fundir, negro brillante, untados por la materia alquitranosa muy escasa que ha aflorado ligeramente a su superficie. Aspecto negro.

Carbón núm. 1.—Aglomerado de abundantes granos de pasta brillante sin fundir, recubiertos en parte por películas de materia alquitranosa. Es flojo y se desmorona fácilmente. Se ve, también, alguna sección fibrosa y polvo negro intenso mate sin fundir nada, que hace predominante el tono negro.

Carbón núm. 2.—Aglomerado de grano de carbón brillante, sin fundir. Se ve abundante polvo negro y mate que deja poros. Bloque blando, inconsistente; se desmorona y se deshace.

Carbón núm. 3.—Fusión preponderante que forma estructura porosa en la que se retienen aglomerados trozos de carbón brillante sin fundir. Color negruzco, tendente a gris. Bloque consistente; da un poco de polvo.

Carbón núm. 4.—Fractura angulosa. Fusión parcial que aglomera granos brillantes sin fundir, muy abundantes. Parecido al carbón núm. 3. Abundante estructura porosa, negra, que da el tono de este color. Bloque, aunque consistente, poco duro, que se parte fácilmente; da polvo al roce.

Carbón núm. 5.—Se ven abundantes los trocitos de carbón brillante sin fundir, envueltos en un polvo fino negro, mate intenso. Hay fusión parcial. Aglomerado de granos de carbón brillante; pasta, sin fundir. Bloque poco consistente, hecho por la presión y la temperatura, pero sin llegar a soldarse los granos; desmoronable fácilmente; da mucho polvo.

Carbón núm. 6.—Fractura sin angulosidades, más bien redondeada. Duro de partir, no da polvo ni unta. Bien fundido, coque poroso, se ve materia negra brillante como brea, que hace de cementante. Tono gris de coque.

Carbón núm. 7.—Totalmente fundido, muy esponjoso, grandes poros, negro brillante de materia alquitranosa. Tono gris.

Carbón núm. 8.—Se ve muy bien a simple vista. Estructura extraordinariamente esponjosa con grandes cavidades de materia completamente fundida, negro intenso lustroso, como la brea. Frágil, pero consistente. No da polvo. Con el microscopio se ve perfectamente que la masa ha pasado por un estado de viscosidad muy ligero, permeable a los gases, que permitió que el desprendimiento de aquéllos la estirase y quedaran al solidificarse las enormes cavidades. Tiene fractura

franca de poros pequeños. No se distingue ningún grano ni resto del carbón originario. Da coque gris claro.

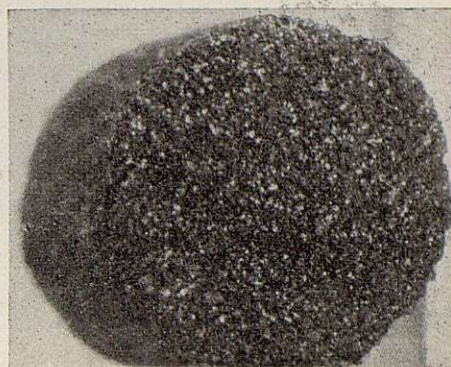


Foto 29.—Carbón núm. 1

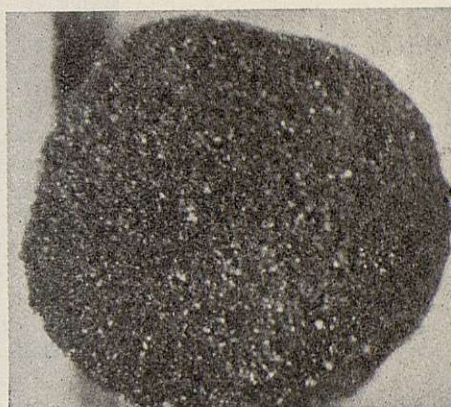


Foto 30.—Carbón núm. 2

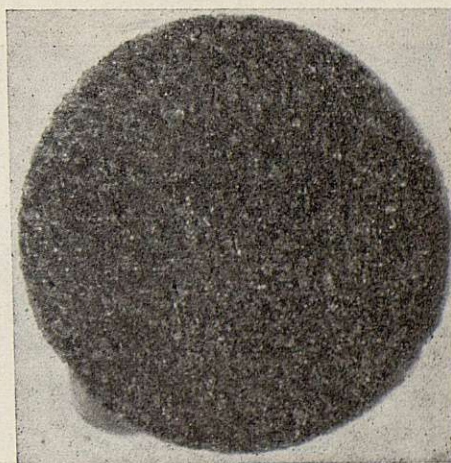


Foto 31.—Carbón núm. 3

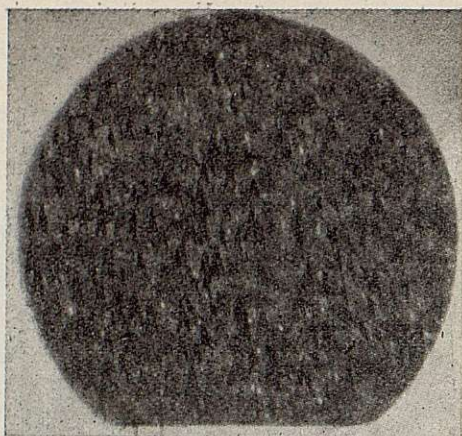


Foto 32.—Carbón núm. 4

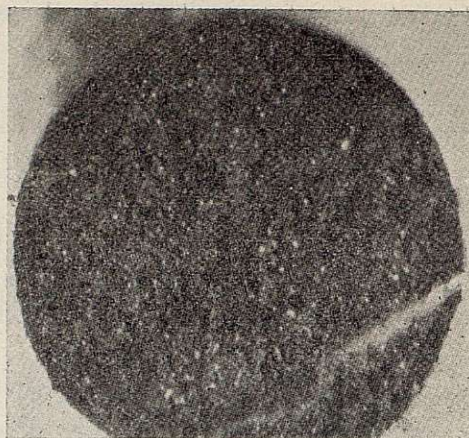


Foto 33.—Carbón núm. 5

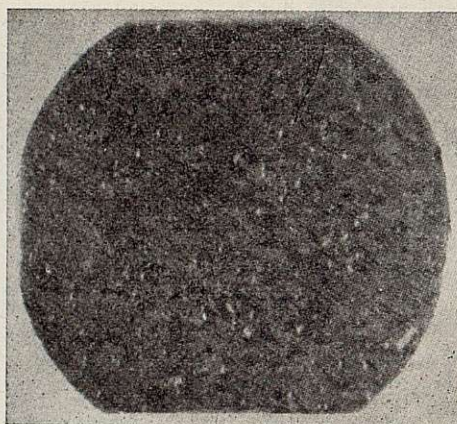


Foto 34.—Carbón núm. 6

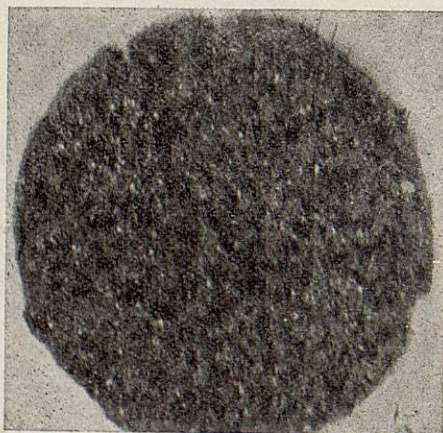


Foto 35.—Carbón núm. 7

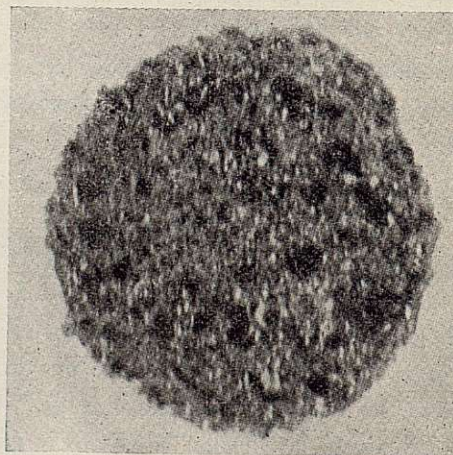


Foto 36.—Carbón núm. 8

Conclusiones

a) Los carbones núms. 0, 1 y 2 dan, predominantemente, aglomerados muy flojos de carbón que no funde. La cantidad de sustancias bituminosa que se manifiesta por efecto de la temperatura es insuficiente para producir la coquización. Se desmoronan en polvo completamente. No son coquizantes.

b) Los carbones núms. 3 y 4 tienen una fracción que funde y retiene al resto de carbón brillante, infusible. Dan bloque de mediana consistencia y algo de polvo. El núm. 3 es más coquizante. Son medio coquizantes.

c) El carbón núm. 5 es brillante sin fundir; tiende a ser antracitoso. Bloque poco consistente que se deshace en polvo negro. No es coquizante.

Los carbones núms. 6, 7 y 8 bien fundidos, porosos, muy consistentes, duros, exentos de polvo. Tono de color gris. Son coquizantes.

De la sección de cada uno de los cilindros se ha incluido una fotografía que los reproduce a unos 100 aumentos, aproximadamente.

1.5. PODER AGLOMERANTE.

Agglomeración con arena silicea > 360 *mallas/cm*²
y < 100 *mallas/cm*².

Carbón	1	2	3	4	5	6 gr.
Núm. 0..	0,070	0,350	0,750	—	—	—
Núm. 1..	0,235	0,950	—	—	—	—
Núm. 2..	0,250	—	—	—	—	—
Núm. 3..	0,090	0,130	0,160	0,270	0,530	1,310
Núm. 4..	0,050	0,090	0,200	0,880	1,020	1,130
Núm. 5..	0,490	0,570	0,800	1,470	2,010	—
Núm. 6..	0,040	0,060	0,170	0,970	1,220	—
Núm. 7..	0,000	0,010	0,030	0,050	0,140	0,160
Núm. 8..	0,010	0,025	0,035	0,060	0,070	0,095
Núm. 9..	No aglomera	—	—	—	—	—
Núm. 10..	Id.	—	—	—	—	—

1.6. EXTRACTOS OBTENIDOS POR DISOLVENTES.—Se han efectuado las extracciones necesarias, tratando cada carbón sucesivamente con piridina y con cloroformo en el aparato Soxhlet.

Carbón flotado <i>d</i> = 1,4	Pirídico	Clorofórmico	Relación cc/ep
0	27,80 %	8,60 %	30,9 %
1	22,32 »	13,12 »	58,2 »
2	28,12 »	9,13 »	—
3	13,52 »	9,40 »	69,5 »
4	2,72 »	0,58 »	21,3 »
5	2,50 »	0,50 »	20,0 »
6	4,92 »	3,32 »	67,7 »
7	24,44 »	16,92 »	69,3 »
8	17,40 »	10,40 »	59,8 »
9	5,72 »	3,60 »	63,0 »
10	2,20 »	2,00 »	91,0 »

Discusión

La dificultad que encuentran los disolventes al actuar sobre materias tan complejas, hace que resulte poco neta la separación de los constituyentes bituminosos, extracto clorofórmico, agentes principales de la coquización.

Especialmente los carbones de muchas materias volátiles, que son los núms. 0, 1 y 2, dan extractos muy cuantiosos, tanto con piridina como con cloroformo.

1.7. MATERIAS HÚMICAS.—Obtenidas de cada carbón por su tratamiento con sosa en caliente.

Carbón	Coloración	Contenido %
Núm. 0	Siena límpido	0,48
Núm. 1	Claro, amarillento, rojizo, límpido	0,05
Núm. 2	Castaño claro, límpido	0,08
Núm. 3	Castaño más obscuro, no límpido	0,20
Núm. 4	Amarillento, un poco intenso, límpido	0,04
Núm. 5	Amarillo muy claro, límpido ...	0,05
Núm. 6	Amarillento, un poco intenso, límpido	0,07
Núm. 7	Amarillento algo intenso	0,07
Núm. 8	Castaño rojizo, límpido	0,06
Núm. 9	Amarillo claro, límpido	0,12
Núm. 10	Apenas da coloración	0,01

Las coloraciones, a partir de un amarillo muy claro, pueden ordenarse así: Carbones núms. 10, 9, 5, 1, 4, 6, 7, 8.

Entre la intensidad de coloración y el % de materias húmicas, se observa correspondencia en los carbones antracitosos núm. 10 y núm. 9. En las hullas hay más variación. Del tono más claro al más obscuro pueden disponerse del modo siguiente:

Carbón núm. 10	...	0,01 %
» » 9	...	0,12
» » 5	...	0,05
» » 1	...	0,05
» » 4	...	0,04
» » 6	...	0,07

Carbón núm. 7	...	0,07
» » 2	...	0,08
» » 0	...	0,09
» » 3	...	0,02
» » 8	...	0,06
» » 6	...	0,31

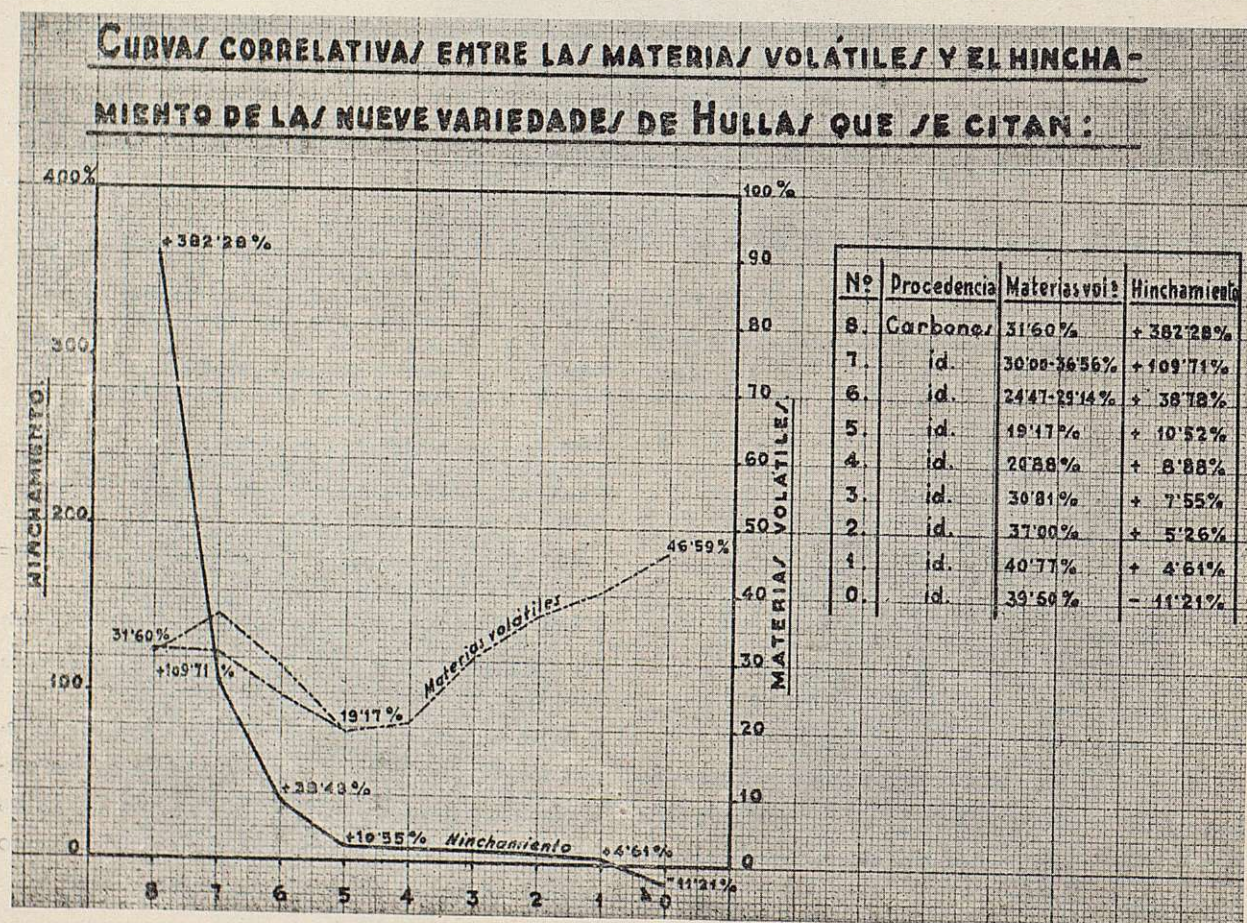
1-8. CLASIFICACIÓN.

Carbón núm.	Análisis elemental			Poder aglom.	Índice hinchamiento	Materias volátiles		
	C	H	O					
0	76,34	6,33	14,52	3-4	— 11,21	40,77	Hulla seca llama larga.	Subbituminoso.
1	80,36	5,81	10,97	2-3	+ 4,61	39,00	Idem grasa llama larga.	»
2	80,75	5,94	11,22	1-2	+ 5,26	37,00	Idem id.	»
3	83,00	5,75	7,43	5-6	+ 7,55	30,81	Idem id.	Bituminoso.
4	85,60	5,71	5,40	4-5	+ 8,88	20,88	Idem id. llama corta.	Semibituminoso.
5	86,14	5,01	5,94	3-4	+ 10,55	19,17	Idem id.	»
6	84,55	5,32	7,23	4-5	+ 38,48	29,14	Idem id.	Bituminoso.
7	81,62	5,50	7,86	6-7	+ 109,71	36,56	Idem id. llama larga.	»
8	81,86	6,14	3,58	8-9	+ 382,28	31,60	Hulla grasa.	»
9	93,50	3,62	4,25	—	+ 4,86	10,75	Idem magra o antracitosa.	»
10	94,75	3,78	3,90	—	+ 15,12	10,96	Idem id.	Antracitoso.

2.—INVESTIGACIÓN

2-1. CORRELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO DE MATERIAS VOLÁTILES Y EL ÍNDICE DE HINCHAMIENTO.—Entre

las nueve variedades de hullas estudiadas se observa curiosa relación entre el contenido de materias volátiles en el carbón y su índice de hinchamiento. Puede verse en el gráfico adjunto que los carbones más



aptos para coque, núms. 3, 6, 7 y 8, tienen un porcentaje de materias volátiles de sólo alrededor del 30 % (límites 25 y 35 %), mientras que los carbones no francamente coquizantes se agrupan en dos categorías, bien sea por debajo del límite inferior dicho, carbones núms. 4 y 5 (con 19,17 y 20,38 %), o bien por encima del límite superior, carbones núms. 0, 1 y 2 (con 40,77-39,80 y 37,00 %).

2-2. EFECTO DE LA VELOCIDAD DEL CALENTAMIENTO. Un calentamiento rápido puede modificar los puntos críticos y el hinchamiento de un carbón, y acrece sus propiedades coquizantes. En los dos cuadros que siguen puede verse el efecto favorable que se consigue al aumentar la velocidad de calentamiento en dos de los carbones ensayados, de cualidades, puede decirse, opuestas.

Carbón núm. 0.—Clase única. Carbón escogido.

Clase	Cenizas	Mat. vols.	Humos	F.º	B.º	V.º	C.º	S.º	Hincha- miento	Velocidad calentamiento
Capa 1.ª... ..	5,00	37,50	360º	355º	350º	380º	455º	455º	— 21,46	1º/minuto
»	»	»	»	300º	350º	390º	455º	455º	— 21,42	2º/minuto
»	»	»	»	375º	365º	408º	470º	470º	— 10,00	5º/minuto
»	»	»	»	365º	350º	440º	465º	465º	— 4,87	10º/minuto

Los humos empiezan a desprenderse hacia los 360º; son muy abundantes. El mayor volumen o hinchamiento máximo se produce de Bº = 350-365º; la fusión de Fº, 355º a 375º. Seguidamente, comienza la contracción, que se prosigue ininterrumpidamente hasta la solidificación, la cual tiene lugar a volumen mínimo y el hinchamiento total y final es negativo.

La temperatura Vº, a la que el volumen vuelve a ser igual al de partida, aumenta con la velocidad de calentamiento. Los puntos Cº y Sº se modifican en el mismo sentido.

En general, la variación de la velocidad de calentamiento produce un desplazamiento del intervalo de la temperatura a la que se produce el estado plástico, sin llegar a producir la inversión del orden en que se suceden los puntos Fº y Bº, cual sería de desear para conseguir la fusión completa del carbón antes del desprendimiento de las materias fluidificantes. La magnitud del intervalo viene a ser la misma. Disminuye la contracción.

Carbón núm. 8.—Clase única. «Todo-uno».

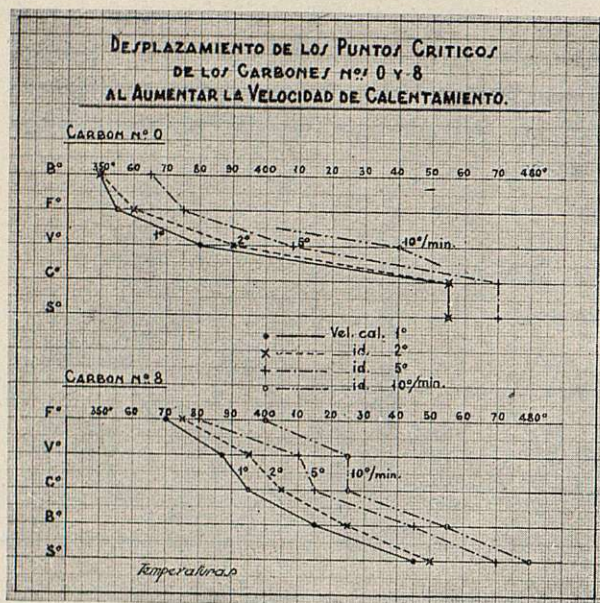
Clase	Cenizas	Mat. vols.	Humos	F.º	B.º	V.º	C.º	S.º	Hincha- miento	Velocidad calentamiento
Finos... ..	22,25	25,50	360º	370º	415º	387º	395º	445º	+ 68,25	1º/minuto
»	»	»	»	375º	425º	395º	405º	450º	+ 88,80	2º/minuto
»	»	»	»	380º	445º	410º	415º	470º	+ 145,16	5º/minuto
»	»	»	»	400º	455º	425º	425º	480º	+ 225,80	10º/minuto

Se deduce que al aumentar la velocidad de calentamiento aumenta la temperatura de todos los puntos críticos y el % de hinchamiento.

El desplazamiento de los puntos críticos y, por tanto, del intervalo de plasticidad, se explica por una a

modo de inercia o retraso en la producción de la exudación de las materias alquitranosas que hacen la masa viscosa. El incremento del hinchamiento se debe al impetuoso desprendimiento de los gases que ocasiona el calentamiento rápido.

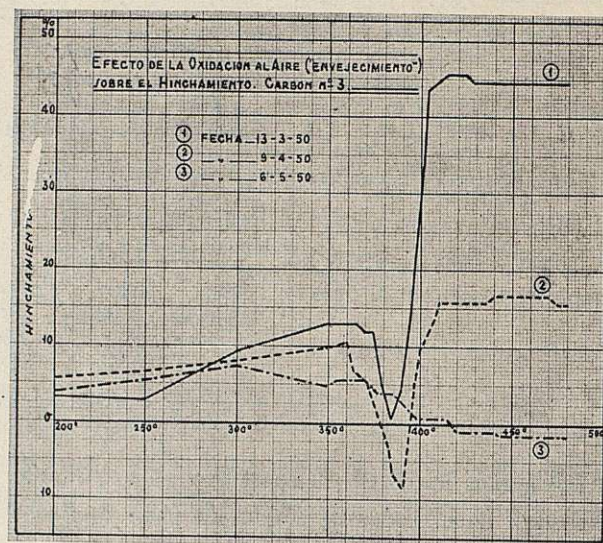
Gráficamente se representa el curso de este fenómeno mediante las curvas insertas a continuación:



2-3. EFECTO DE LA OXIDACIÓN DEL CARBÓN.—El gráfico adjunto presenta tres curvas de hinchamiento correspondientes al carbón núm. 3, determinadas en una misma muestra en tres fechas, distanciadas entre sí casi un mes.

Se ve, muy expresivamente, el efecto nocivo que sobre el hinchamiento, y, consiguientemente, sobre la aptitud a coquizar de un carbón, ejerce la oxidación

natural del mismo, por simple exposición al aire ambiente; fenómeno que se designa, por similitud, debido a la pérdida de actividad, como un «envejecimiento del carbón». La causa reside en la transformación de los constituyentes, los cuales tienden a dar ácidos húmicos por su tratamiento con sosa en caliente.



2-4. ENSAYOS DE PREPARACIÓN DEL CARBÓN 0.—Con el fin de separar las fracciones más coquizables se efectuaron estos ensayos en varias direcciones, de los cuales sólo citamos aquellos que ofrecieron algún resultado de interés, a saber:

2-4-1. Por flotación diferencial de espuma:

Ensayo núm.	Objeto	Reactivos	Fracciones de mejores aptitudes para coque			
			Producto	Rendimiento	Cenizas	Punt. coque
1	Deprimir el fuseno y recoger el antraxilón en las primeras espumas. Después flotar el atritus para separarlo de los estériles.	Almidón. Aceite de pino. Aceite ligero. Fenol.	3. ^a espuma.	20,0 %	4,75	5
			4. ^a espuma.	22,6 %	5,50	5
			Colas.	50,7 %	8,50	7
2	Idem íd. Se prescinde de flotar el atritus por ser el residuo un carbón utilizable.	Almidón. Aceite de pino. Aceite ligero.	3. ^a espuma.	36,6 %	4,75	8
			Colas.	41,4 %	8,75	7
3	Idem íd. Se emplea el petróleo como colector.	Almidón. Petróleo. Aceite de pino.	5. ^a espuma.	15,0 %	11,25	3
4	Oxidación del vitreno y durenó para deprimirlos y flotar primero el fuseno solamente.	KMnO ₄ . Fenol. Espumante 60. Aceite ligero. Aceite de pino.	4. ^a espuma.	31,0 %	15,50	4
			5. ^a espuma.	15,3 %	16,60	1

Ensayo número	Objeto	Reactivos	Fracciones de mejores aptitudes para coque			
			Producto	Rendimiento	Cenizas	Punt. coque
5	Flotación del fuseno mediante el fenol, oxidando previamente el vitreno para deprimirlo. Se recogen solamente dos espumas y se hidroclasifican las colas.	Espumante 60. Fenol. KMnO ₄ .	1. ^a espuma.	28,3 %	12,25	6
			Colas. 50-10.	14,8 %	12,50	5

Los resultados que revelan los botones no corresponden a la intención con que se emplearon los reactivos; no obstante, se pudo ver que, aunque presentase este carbón flotación poco franca, se podía dividir en distintas fracciones y obtener en éstas una clasificación más o menos precisa de los componentes. Varía de unas a otras la aptitud de coquización.

Los ensayos núms. 1 y 2 se realizaron con un carbón que tenía, a la entrada, 6,50 % de cenizas. Los botones obtenidos de las fracciones citadas eran aceptables, y el rendimiento, en conjunto, elevado 93,3 %. En estos resultados debe admitirse una favorable intervención del pequeño contenido de cenizas.

El ensayo núm. 3, empleando petróleo que hacía fácil la flotación, no revela un resultado de interés, desde el punto de vista de las fracciones para coquizar.

El ensayo núm. 4 se hizo con un carbón de muchas cenizas. Los rendimientos de las fracciones utilizables

resultan bajos, 46,3 % del total carbón tratado. Los resultados de los botones, bastante medianos.

El ensayo núm. 5, hecho con otra muestra del mismo carbón, con muchas cenizas, dió resultados mejores en los botones, pero de rendimiento, 43,1 %, bajo.

Por consiguiente, debe deducirse:

1.º Que con carbones de pocas cenizas (6,50 %) se separan fracciones utilizables y que el rendimiento de conjunto es elevado.

2.º Que con carbones de muchas cenizas (20 %) las fracciones no tienen tanta aptitud para coquizar, que contienen alrededor de un 15 % de cenizas y que el rendimiento es inferior a 50 %.

3.º Que en la flotación diferencial parece lo más conveniente, desde el punto de vista de carbón flotado, deprimir el fuseno, que flota mal, y flotar primeramente el vitreno, clareno y durenno, que flotan mejor.

2-4-2. *Por hidroclasificación.*—Se reúnen los resultados en la tabla siguiente:

Fracción número	Velocidad del agua mm/seg.	Rendimiento %	Cenizas %	Aspecto del carbón separado	Tamaño del grano	Ensayo de coque		
						Botón	Horno vertical	Rendimiento %
1	Mayor de 90	8,58	36,00	Borrasco y pizarra.	El mayor.	Sí.	Todo polvo.	0
2	De 90-80	7,40	14,50	Algo de carbón brillante, mucho mate y borrasco.	3 mm.	Sí.	Todo polvo.	0
3	De 80-70	7,83	9,25	Bastante carbón brillante y mate, poco borrasco. Resulta limpio.	»	Sí.	Todo polvo.	0
4	De 70-60	7,61	8,00	Poco carbón brillante, mucho mate.	»	Sí.	Todo polvo.	0
5	De 60-50	6,95	7,25	Idem íd.	»	Sí.	Aglomerado y polvo.	0
6	De 50-40	8,05	6,00	Más carbón brillante, menos mate. Muy limpio.	»	Sí.	Espesor delgado en las esquinas.	0

Fracción núm.	Velocidad del agua mm/seg.	Rendimiento %	Cenizas %	Aspecto del carbón separado	Tamaño del grano	Ensayo de coque		
						Botón	Horno vertical	Rendimiento %
7	De 40-30	8,70	5,00	Poco carbón brillante y más mate; lim- pio.	2 mm.	Sí.	Idem íd.	0
8	De 30-20	18,26	4,00	Poco carbón brillan- te y más mate; mezclado.	Fino.	Sí.	Todo polvo.	0
9	De 20-10	19,24	5,00	Idem íd.	»	Sí.	Todo polvo.	0
10	Menor de 10	5,76	6,00	Mate muy mezclado; fuseno.	Muy fino.	Sí.	Todo polvo.	0
Suma		98,37	—	—	—	—	—	—
Pérdida		1,63	—	—	—	—	—	—
TOTALES		100,00	9,50	El «todo-uno» se mo- lió previamente a.	3 mm.	Sí.	Aglomerado muy desmo- ronable.	—41

Los botones que denotaron mejores resultados fueron los de las fracciones 6 y 7, que eran las más abundosas en carbón brillante. Los resultados en el horno vertical de ensayos no fueron satisfactorios, pero dejaron ver que se formaba un principio de coquización en las partes de carbón colocado en las esquinas que estaban sometidas a régimen más intenso de calentamiento, por las dos caras del diedro, simultáneamente, lo cual explica la diferencia de los resultados entre los botones y el horno, y que en éste no prosiga la coquización.

A la vista de estos resultados ensayamos en probetas de 500 gr. las fracciones 6, 7, 8 y 9, y obtuvimos los resultados siguientes:

Fracción	Observaciones sobre el ensayo
6 y 7	Coquización en la superficie que no penetra en el interior; sin fundir.
8	Coque de buen aspecto, gris, brillante, frágil, duro, que forma una corona de unos 15 mm. de espesor. En el interior zona negruzca de coquización incompleta.
9	Coque de grano fino, de mejor aspecto y parecidas condiciones que el anterior.
8 y 9	Coque de buen aspecto, pero la coquización penetra de modo desigual.

De lo incompleto de las coquizaciones se intuye que, aparte de otras circunstancias no consideradas, el ob-

tener un coque aceptable de estas fracciones dependerá especialmente de unas condiciones expresas de calentamiento durante el proceso de coquización.

2-4-3. *Preparación de concentrados en mesa Wilfley.*—Con el fin de preparar más rápidamente mayor cantidad de carbón de las fracciones indicadas como más convenientes a la coquización, empleamos para la obtención de concentrados la mesa Wilfley.

Los resultados son parecidos a los obtenidos en las hidroclasificaciones, y mayores los rendimientos de carbón útil.

Ensayo núm.	Tamaño del grano	Concentrado		Coque	
		Rendit.°	Cenizas	Botón	Valoración
1	Mayor de 20 ma- llas.	65 %	9,50 %	Sí.	Mejor.
2	Menor de 20 ma- llas.				
3	Mayor de 20 ma- llas.	75 %	12,25 %	Sí.	—
4	Menor de 20 ma- llas.	54 %	6,50 %	Sí.	Mejor.
		79 %	13,00 %	Sí.	—

De las probetas ensayadas de estas fracciones resultaron buenas coquizaciones superficiales, que no penetran en el interior de la masa, lo cual evidencia, otra vez, que la obtención de coque dependerá de las condiciones térmicas del tratamiento. Se observa que los concentrados de grano mayor a 20 mallas son más limpios y dan mejor coquización.

2-4-4. *Preparación de fracciones por medios densos.*—Partimos como «todo-uno» de un menudo seco,

«deschlammado» previamente, hallando las fracciones siguientes:

Densidad	Fracción %	Cenizas %	Carbón	Coque obtenido
1,25	11,60	3,75	Casi todo brillante, negro, amorfo.	Buen aspecto.
1,30	54,75	7,50	Semibrillante y polvo mate.	Desmoronable.
1,40	29,05	49,00	Mate, gris, con mucho estéril.	Todo polvo.
Pérdida	4,60	—	—	—
TOTALES	100,00	20,50	—	—

Este fraccionamiento deja ver que la fracción de alguna aptitud para coque es, prácticamente, muy pequeña, un 12 %. Ciertamente, el contenido de cenizas del carbón de partida es elevado, pero, de todos modos, sigue confirmando que en este carbón núm. 0 la proporción que no da coque es muy grande.

2-5. ENSAYOS DE SEPARACIÓN DE LOS CONSTITUYENTES PETROGRÁFICOS DEL CARBÓN NÚM. 0.—Distin-

guimos solamente el carbón brillante (vitreno) y el fibroso y pulverulento (fuseno), discernibles por sus caracteres a simple vista, que separamos manualmente. Los componentes intermedios, clareno y durenno, no los apreciamos.

Empleamos un carbón escogido de 12 % de cenizas y 33 % de materias volátiles, y sacamos cuatro muestras del mismo, cuyas características eran:

Muestra	Constituyente	Cenizas	Materias volátiles	Materias húmicas	Hinchamiento	Aspecto del polvo	Aspecto de la ceniza
A	Vitreno.	1,05	34,60	Sí tiene.	+ 5,14	Brillante, negro muy intenso.	Amarillenta, esponjosa, arenosa.
B	Vitreno y algo de fuseno.	1,65	39,15	Menos.	+ 3,80	Menos brillante y menos negro.	—
C	Mixto, predomina fuseno.	2,50	36,20	Menos.	+ 3,11	Mate negro.	—
D	Fuseno.	6,10 %	24,40 %	El que me nos.	+ 4,34 %	Negro mate con puntitos brillantes.	Gris azulada y blanca pulverulenta.

Se ha observado que los lechos de vitreno retienen en los planos de juntas, laminillas de pirita de hierro y sales depositadas, que aumentan las cenizas. También hay precipitaciones de pirita en las superficies de contacto del carbón con la roca.

Las superficies de fuseno tienen lustre brillante, como un terciopelo sedoso. En masa, su polvo es mate, sin brillo. Se encuentran lentejones de negro más intenso. Las capas que forma no tiene espesor uniforme.

Ensayada la coquización, dieron:

Muestra A.—Botón gris claro, fisurado, con eflorescencia, poco hinchado, muy duro, da polvo brillante. Rendimiento t. grueso ... 87,6 %

Muestra B.—Botón gris claro, plano, fisurado, partido, esponjoso, muy duro, menos polvo,

buen aspecto. Es el mejor resultado. Rendimiento t. grueso ... 98,1 %

Muestra C.—Botón menos claro, sin fisurar, plano, apretado, muy duro, algo de polvo. Rendimiento t. g. ... 97,0 %

Muestra D.—Todo polvo fino, gris mate. Rendimiento t. g. ... 0,0 %

Al objeto de verificar estos resultados preparamos muestras mayores, de composición lo más semejante posible a las anteriores, molidas a tamaño de 2 ½ mm. y lavadas. El calibrado era, para las A, B y C, de sólo menor de 80 mallas, el 1,4 %. Se trataron en horno vertical de 160 mm., de pared metálica, compresión normal y temperatura de 1.000° y tiempo de carbonización 17 horas. Los resultados se indican a continuación:

Muestra	Carbón	Cenizas %	Mats. vols. %	Coque obtenido	Rendimiento t. g.
A	Brillante, lo más exento posible de fuseno.	3,00	31,00	Gris claro, fisurado, se fracciona en trozos compactos y duros. La coquización no ha penetrado completamente; tiene granos sin fundir. La parte fundida es de poro fino muy uniforme y buen aspecto.	84 %
B	Brillante predominante, con algo de fuseno íntimamente interpuesto.	3,50	31,50	Gris claro, fisurado, se fracciona, ligero, duro, con menos granos no fundidos que el anterior. Buen aspecto, aceptable.	98 %
C	Mate con vitreno adherido, no predomina el fuseno.	4,38	32,75	Aglomerado, aunque duro, desmoronable.	—
D	Mate, casi todo fuseno.	5,25	—	Todo polvo.	—

Se ve que el mejor resultado es el de la muestra B, que contiene carbón brillante y mate, con predominio del primero. Ello prueba que puede admitirse en el carbón cierta proporción no excesiva de fuseno, y, por consiguiente, que no es preciso eliminarlo por completo en los tratamientos previos de preparación del carbón original.

2-6. ENSAYOS DE COQUIZACIÓN DEL CARBÓN 0.— Para los ensayos se ha partido de un carbón recientemente arrancado, apenas oxidado y con pequeño contenido de materias húmicas.

Tanto en la preparación del carbón como en la coquización han sido probados distintos procedimientos posibles, sin alcanzar resultado satisfactorio. En los procedimientos de coquización debemos establecer dos grupos:

I. *Corrientes*.—Que son aquellos que sirven para las hullas coquizantes, mediante las cuales se obtiene coque metalúrgico por calefacción lenta, como son la mayoría de las instalaciones industriales antiguas. Estos procedimientos, luego de muchas tentativas y ensayos, ha habido que abandonarlos por no ser adecuados para producir un coque aceptable de este carbón. A lo más, llega a obtenerse un aglomerado desmoronable, pulverulento y sin ningún rendimiento práctico en tamaño grueso.

II. *Especiales*.—De los métodos especiales para obtener coque de un carbón no coquizante, hemos ensayado todos cuantos nos han sido posible con los me-

dios de que se dispone en la práctica de una coquería. Los resultados han sido muy variables, según las condiciones. Del conjunto de muchos ensayos hemos ido concentrando las particularidades que, en el caso más favorable, nos permitan obtener coque. Éstas, derivadas de las propiedades del fenómeno de coquización, permiten aconsejar:

- a) Que el carbón se trate seguidamente de arrancado.
- b) Ser conveniente un concentrado de las fracciones más coquizantes.
- c) Que el carbón tenga pocas cenizas.
- d) Que se compruebe la humedad.
- e) Comprimir mucho el carbón a enhornar.
- f) La conveniencia de un grano que no sea grande ni contenga polvo.
- g) Que la masa de carbón enornado sea de poco espesor.
- h) Emplear temperatura elevada.
- i) Que la velocidad de calentamiento sea grande.

Teniendo en cuenta tales consideraciones hemos obtenido buen resultado al utilizar un «concentrado» de carbón núm. 0 lavado en mesa Wilfley, enornado en masa de poco espesor, muy comprimida, en horno de ensayos de pared metálica a temperatura de 1.070°; tiempo de cocción, 8 horas. El poco espesor en la masa de carbón es aconsejable para que el progreso de la carbonización sea homogéneo.

Las características del «concentrado» eran:

Calibre: Menor de 20 mallas y mayor de 150 mallas/cm.

Materias húmicas: Pequeña cantidad.

Cenizas: 6,25 %; Mat. vols.: 33,25 %; Humedad: 13,0 %.

Botón de coque: Muy plano.

De las pruebas de coquización obtuvimos un coque enteramente fundido, gris metálico brillante, fisurado, duro, frágil, ligero, sin nada de polvo. Puede verse el aspecto que presenta en las fotografías 37 y 38.

Las características del coque eran:

Cenizas: 9,00 %; Mat. vols.: 1,25.

Rendimiento en coque total: 56,5 %.

Rendimiento en coque t. g.: 100,0 %, prácticamente.

Contracción de volumen: 10 %.

Este resultado fué excelente, y nos cabe, modestamente, la satisfacción de decir que constituye una solución, en cierto modo, al difícil problema de coquizar el carbón considerado, que estimamos hemos conseguido por vez primera.



Foto 37



Foto 38

Si recapitulamos los resultados experimentales del tratamiento de este carbón núm. 0, surgen, en resumen, las conclusiones siguientes:

- 1.^a No es un carbón apto para coque por sí mismo.
- 2.^a No es coquizable en los hornos industriales corrientes.
- 3.^a Podría obtenerse un cierto coque en condiciones especiales de costosa realización.
- 4.^a Puede obtenerse coque más fácilmente, mediante mezclas a propósito, con carbones de elevado poder coquizante.
- 5.^a Es un carbón rico en gas y subproductos.
- 6.^a Debe insistirse en la investigación de su aprovechamiento.

2-7. ENSAYOS DE COQUIZACIÓN DE MEZCLAS DE LOS CARBONES CONSIDERADOS.

A) *Binarias: Carbón núm. 4 + carbón núm. 6.*— Se ensaya una serie de mezclas cuyas proporciones varían en un 10 %, en horno semi-industrial de 160 mm.; temperatura de 1.080°; tiempo de tratamiento, el mismo para cada ensayo, 16 horas. Los resultados se indican en el cuadro siguiente:

Mezcla núm.	Carbón		Cenizas %	Materias volátiles %	Hinchariento %	Coque obtenido			
	Núm. 4 %	Núm. 6 %				Rendimiento %	Resistencia Kg/mm ²	Cohesión	Aspecto
1	100	—	11,25	21,75	+ 5,71	87,8	51,36	88	(1)
2	90	10	11,50		5,71	89,0			(2)
3	80	20	12,25		5,71	93,3			(3)
4	70	30	12,75		5,88	94,3			(4)
5	60	40	13,25		8,57	95,1			(5)
6	50	50	13,50		9,41	95,2			(6)
7	40	60	13,75		10,00	96,0			(7)
8	30	70	14,00		10,58	96,0			(8)
9	20	80	14,50		12,35	96,0			(9)
10	10	90	15,25		15,88	96,0			(10)
11	—	100	15,25	24,50	29,23	97,0	70,31	94	(11)

Aspecto.—(1): Bien troceado, resistente, algo granular.—(2) y (3): Trozos grandes, algo aglomerado.—(3): Trozos menores.—(5), (6), (7), (8), (9) y (10): Buena coquización, poroso, duro.—(11): Buena coquización, duro, denso.

Se deduce que a partir de un 40 % del carbón núm. 6, que actúa de mejorador, y más, se produce un coque de buena coquización, poroso, duro, sonido metálico y resistencia creciente. En el índice de hinchamiento no se observa aumento de consideración hasta que entra en la mezcla un 40 %, aproximadamente, de carbón núm. 6, el cual sube paulatinamente hasta la mezcla del 80 %, y pasada esta proporción el incremento es cada vez mayor y llega a ser brusco para el 100 % de este carbón, a pesar de ir sucesivamente en aumento el contenido de cenizas.

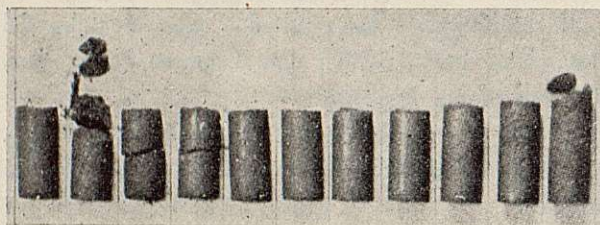


Foto 39

La representación gráfica siguiente hace perfectamente clara la demostración, y en la fotografía 39 se ven puestos en el mismo orden los cilindros resultantes de los ensayos de hinchamiento correspondientes a cada mezcla.

B) Ternarias.—Se estudian las mezclas posibles de los cuatro carbones núms. 3, 4, 5 y 8, tomándolos de tres en tres, que son las de combinaciones posibles:

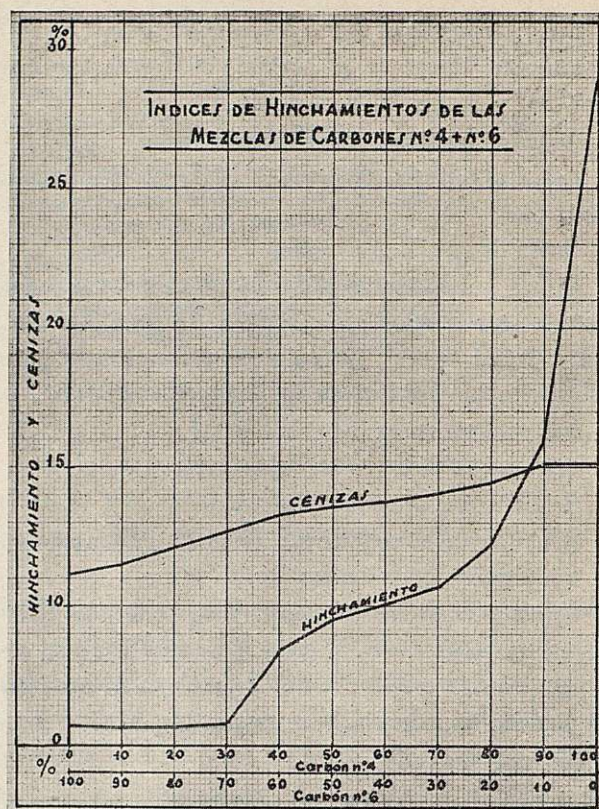
$m \quad 4.3.2$
 $= \frac{4}{2} = 2 = 4$. Para ello empezamos estudiando se
 $n \quad 1.2.3$

Carbón núm. 4 + carbón núm. 5. Curva 1.

Carbón núm. 4	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	—
Carbón núm. 5	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	5,94 %	5,14	1,14	5,14	4,75	6,28
Cenizas	5,25 %	5,25 %	5,00 %	5,00 %	5,00 %	4,75 %
Materias volátiles	19,00 »	19,75 »	19,75 »	19,50 »	19,75 »	20,50 »

Carbón núm. 3 + carbón núm. 4. Curva 2.

Carbón núm. 3	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	—
Carbón núm. 4	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	6,28 %	6,28	5,29	5,88	7,05	30,28 %
Cenizas	4,75 %	6,00 %	6,75 %	7,50 %	8,50 %	9,50 %
Materias volátiles	20,50 »	21,75 »	22,75 »	23,75 »	26,00 »	27,50 »



ries de las mezclas binarias posibles de los mismos:

$4 \quad 4.3 \quad 12$
 $= \frac{4}{2} = 2 = 6$, al objeto de determinar los lí-

mites prácticos de éstas. Los valores de hinchamiento y datos correspondientes a cada mezcla de las series, en las cuales cada término varía en un 20 % respecto al anterior, se indican en las tablas siguientes, y su representación gráfica se hace a continuación:

Carbón núm. 3 + carbón núm. 5. Curva 3.

Carbón núm. 3	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	—
Carbón núm. 5	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	5,94 %	6,11	5,55	8,57	12,22	30,28 %
Cenizas	5,25 %	6,00 %	7,25 %	7,50 %	8,25 %	9,50 %
Materias volátiles	19,00 »	21,00 »	22,00 »	24,25 »	25,50 »	27,50 »

Carbón núm. 8 + carbón núm. 5. Curva 4.

Carbón núm. 8	100 %	80 %	60	40 %	20 %	—
Carbón núm. 5	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	5,94 %	7,77	16,11	46,66	108,10	301,66 %
Cenizas	5,25 %	5,25 %	5,00 %	4,75 %	4,75 %	4,50 %
Materias volátiles	19,00 »	21,75 »	23,50 »	24,50 »	26,75 »	29,00 »

Carbón núm. 8 + carbón núm. 4. Curva 5.

Carbón núm. 8	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	—
Carbón núm. 4	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	6,28 %	5,55	11,42	49,44	144,57	301,66 %
Cenizas	4,75 %	4,75 %	4,75 %	4,50 %	4,50 %	4,50 %
Materias volátiles	20,50 »	21,75 »	23,75 »	25,25 »	27,25 »	29,00 »

Carbón núm. 8 + carbón núm. 3. Curva 6.

Carbón núm. 8	100 %	80 %	60 %	40 %	20 %	—
Carbón núm. 3	—	20	40	60	80	100 %
Índice de hinchamiento	30,28 %	26,66	65,94	77,71	193,88	301,66 %
Cenizas	9,50 %	8,00 %	7,00 %	6,25 %	5,50 %	4,50 %
Materias volátiles	27,50 »	27,50 »	28,25 »	28,50 »	28,25 »	29,00 »

De la observación de las curvas se deduce que el hinchamiento en las mezclas no es, ni con mucho, directamente proporcional a las proporciones de los carbones mezclados, sino que crece mucho más lentamente y sólo adquiere valores de consideración cuando la proporción del carbón mejorante (en nuestro caso número 3, 4 y 8), es, por lo general, de un 40 %.

Con las seis mezclas binarias estudiadas, pasamos a ensayar las cuatro mezclas ternarias posibles siguientes:

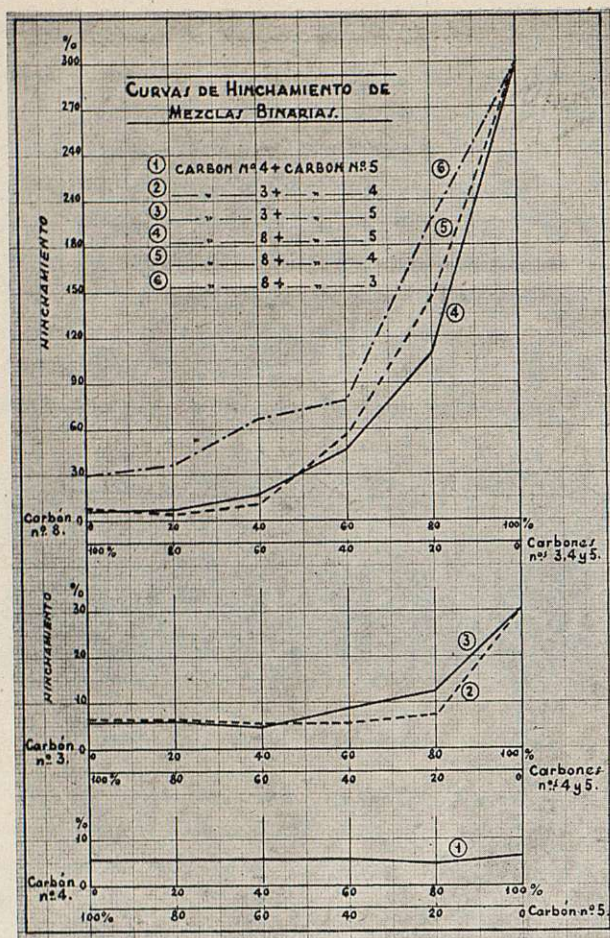
- Carbón núm. 5 + carbón núm. 4 + carbón número 3.
- Carbón núm. 5 + carbón núm. 4 + carbón número 8.
- Carbón núm. 4 + carbón núm. 3 + carbón número 8.
- Carbón núm. 5 + carbón núm. 3 + carbón número 8.

El carbón núm. 5, es «secante»; el núm. 4, «de poco hinchamiento»; el núm. 3, tiene un hinchamiento moderado y funde bien; el número 8 tiene un gran hinchamiento y funde muy bien.

Tenemos que:

a) Se toma el carbón núm. 5 como no coquizante, el núm. 4 como corriente y el núm. 3 como mejorante. Para estos tres carbones, núms. 3, 4 y 5, los valores de hinchamiento máximo indicados en las tres primeras tablas anteriores, dan como límites las composiciones cuyos hinchamientos son 5,14, 12,22 y 7,05 %, o sea, de 0-40 % carbón núm. 5, 0-20 % carbón núm. 4, 0-80 % carbón núm. 3. Entre estas proporciones deducimos, mediante el diagrama triangular adjunto, cuatro áreas cuyo significado es:

Las mezclas del área (I) tienden a bajar el hinchamiento por debajo de 12,22 %, que es su límite máximo. Son de hinchamiento bajo: 12,22-5,94-5,14 %.



Las mezclas del área (II) tienden a bajar su hinchamiento por debajo de 7,05 %, que es su límite máximo. Son de hinchamiento bajo: 7,05-6,28-5,14 %.

Las mezclas del área (III) tienden a subir su hinchamiento por encima de 7,05 %, que debe ser su límite mínimo. Son de hinchamiento alto: 30,28-12,22-7,05 %.

Las mezclas del área (IV) son de hinchamiento comprendido entre 5,14-7,05-12,22 %, y varían según se aproximen más o menos a los respectivos vértices.

b) En los carbonos núms. 4, 5 y 8, en el orden de corriente, no coquizante y mejorante, se toman como valores prácticos del hinchamiento de los dos últimos, no los máximos, sino otros menores, alrededor de un 50 %, por estimarse suficientes para las condiciones del trabajo. Así, los puntos 40 % carbón núm. 5 + 60 % carbón núm. 4 (hinchamiento, 5,14 %), 60 % carbón núm. 8 + 40 % carbón núm. 5 (hinchamiento, 46,66 %) y 40 % carbón núm. 4 + 60 % carbón núm. 8 (hinchamiento, 49,44 %), delimitan, en el dia-

grama triangular, las cuatro áreas conocidas, que en este caso representan:

El área (I) las mezclas cuyo hinchamiento debe ser inferior a 46,66 %, que es su límite máximo; son de hinchamiento bajo: 46,66-5,94-5,14 %.

El área (II) las mezclas cuyo hinchamiento debe ser inferior a 49,44 %, que es su límite máximo; son de hinchamiento medio: 49,44-6,28-5,14 %.

El área (III) las mezclas cuyo hinchamiento tiende a ser mayor de 46,66, que debe ser su límite mínimo; son de hinchamiento elevado: 30,66-49,44-46,66 %.

El área (IV) las mezclas cuyo hinchamiento está comprendido entre 5,14-46,66-49,44 %, varían según se aproximen, más o menos, a los respectivos vértices.

En las áreas (I), (II) y (III) se indican puntos con el valor del hinchamiento de las mezclas que representan, las cuales confirman lo expuesto.

c) Análogamente, en los carbonos núms. 3, 4 y 8, tomados en el orden indicado, las composiciones de hinchamiento 7,05 % (20 % de carbón núm. 4 + 80 % carbón núm. 3), 49,44 % (60 % carbón número 8 + 40 % carbón núm. 4) y 65,94 % (60 % carbón núm. 4 + 40 % carbón núm. 8), delimitan en el diagrama triangular las áreas:

(I), correspondiente a las mezclas de hinchamiento menor que 49,44 %. Son, en general, las de hinchamiento menor.

(II), correspondiente a las mezclas de hinchamiento menor a 65,94 %. Son de hinchamiento medio.

(III), correspondiente a las mezclas que tienden a tener hinchamiento mayor que 46,66 %. Son las de hinchamiento mayor.

(IV), correspondiente a las mezclas cuyo hinchamiento está comprendido entre 7,05-49,44-65,94 %.

A lo largo de la recta (100 % carbón núm. 3 + 0 % carbón núm. 4), (20 % carbón núm. 8 + 80 % carbón núm. 4), que corta las áreas (I), (IV) y (II), puede verse cómo varía el valor del hinchamiento, decreciendo, dentro de los valores límites indicados.

a) Finalmente, con los carbonos núms. 3, 5 y 8, para las composiciones de los hinchamientos 12,22 %, 46,66 % y 65,94 %, se obtiene una representación triangular idéntica a la anterior, delimitándose las cuatro áreas conocidas:

(I), correspondiente a las mezclas de hinchamiento menor que 46,66 %.

DIAGRAMA DE LAS MEZCLAS TERNARIAS DE LOS CARBONES N° 3, 4 y 5.

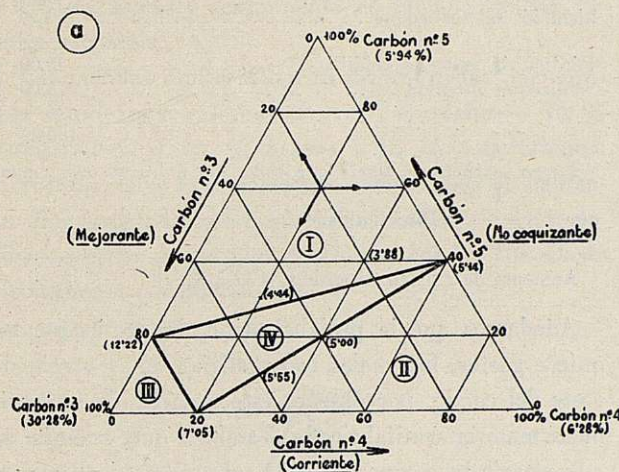


DIAGRAMA DE LAS MEZCLAS TERNARIAS DE LOS CARBONES N° 4, 5 y 8.

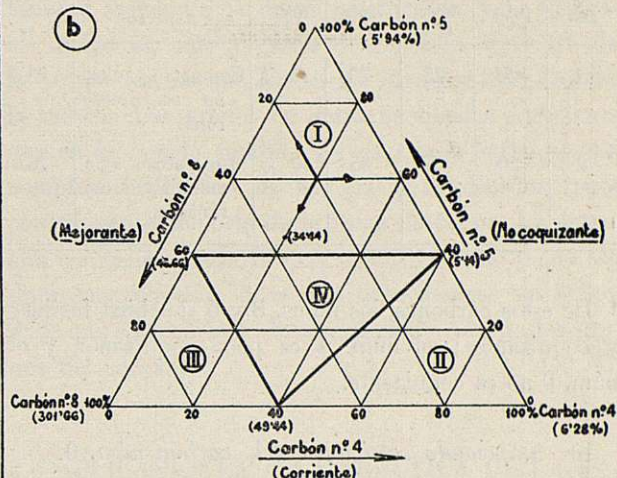


DIAGRAMA DE LAS MEZCLAS TERNARIAS DE LOS CARBONES N° 3, 4 y 8.

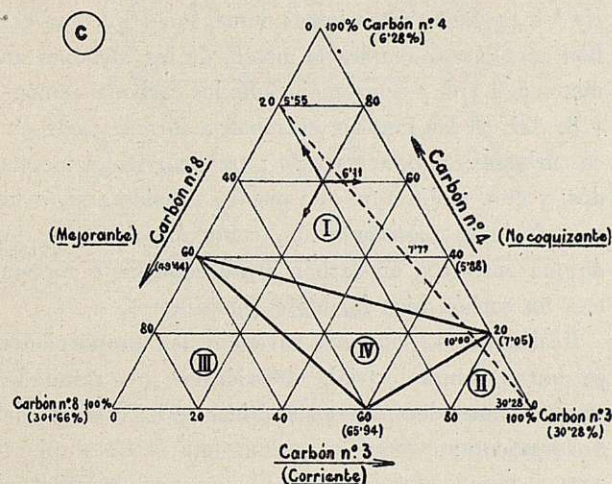
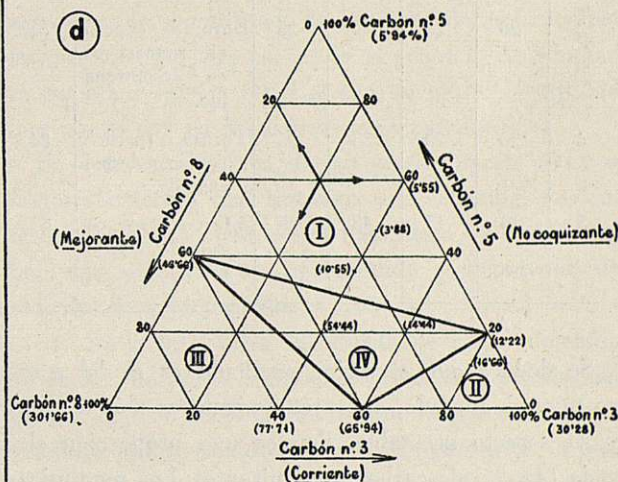


DIAGRAMA DE LAS MEZCLAS TERNARIAS DE LOS CARBONES N° 3, 5 y 8.



(II), correspondiente a las mezclas de hinchamiento menor que 65,49 %.

(III), correspondiente a las mezclas de hinchamiento mayor que 46,66 %.

(IV), correspondiente a las mezclas de hinchamiento comprendido entre 12,22-46,66-65,94 %.

En cada una de las zonas pueden observarse puntos representativos de mezclas cuyos valores de hinchamiento se han hallado como comprobación, los cuales quedan comprendidos entre los límites dichos. La influencia favorable del carbón mejorante núm. 8 puede

observarse a lo largo de la línea (60 % carbón número 5-40 % carbón núm 4), cuyos valores de hinchamiento aumentan a medida que se encuentra en las mezclas la proporción del mismo.

C) Cuaternarias.—Citamos sólo, como de particular interés, dos series de ensayos hechos con los cuatro carbones núms. 0, 4, 6 y 8, al objeto de estudiar la posibilidad de substituir el carbón núm. 0, que no es coquizante, por su semicoque. Del conjunto de ensayos hemos sobresacado los cinco siguientes, que resumen los resultados:

a) Empleando carbón núm. 0.

Ensayo núm.	Mezcla enhornada				Coque obtenido	
	Carbón n.º 8	Carbón n.º 6	Carbón n.º 4	Carbón n.º 0	Aspecto	Rendim.º t. g.
1	20	25	30	25 %	Compacto, duro, no se desmorona.	88,6
2	20	15	35	30 %	Muy poroso, aglomerado, desmoronable.	76,0

De estos carbones, los núms. 8 y 6 son bien fusibles y coquizantes; el núm. 4 es poco coquizante, y el núm. 0 no es coquizante.

b) Empleando semicoque del carbón núm. 0.

Ensayo núm.	Carbón n.º 8	Carbón n.º 6	Carbón n.º 4	s/coque carbón n.º 0	Coque obtenido	
					Aspecto	Rendim.º t. g.
3	20	25	30	25	Duro, de superficie rugosa, poco desmoronable.	83,2
4	20	20	35	25	Poroso, superficie porosa, desmoronable.	84,8
5	14	15	45	25	Inferior, poco coquizado, desmoronable.	82,5

Se deduce que el mejor resultado es el del ensayo núm. 1 anotado, cuyo rendimiento es más elevado y su aspecto aceptable. Emplea una proporción elevada (45 %) de carbones coquizantes. Los rendimientos en t. g. son bajos. Se recomienda el menor contenido posible de cenizas, lo que favorecería el rendimiento.

Las proporciones de los ensayos 1 y 3 son las mismas, por lo cual hay que dar la preferencia al coque obtenido empleando directamente en la mezcla el carbón núm. 0 y no su semicoque. En consecuencia, a igualdad de proporciones, se obtiene mejor coque empleando el carbón que substituyéndolo por su semicoque.

El empleo de semicoque en las muestras hace disminuir, relativamente, las proporciones de los demás carbones que se hayan de consumir, y supone un con-

sumo mayor en un 33,5 % de carbón núm. 0, según el cálculo siguiente:

Materias volátiles del carbón núm. 0	36,50 %
Idem id. del semicoque	11,50 %
Pérdida de materias volátiles	25,00 %
Semicoque obtenido	75,00 %
	100,00 %

Luego, carbón necesario por cada 100 unidades de semicoque = $\frac{1}{0,75} = 133,5$ unidades.

Aumento de empleo de carbón = 33,5 %.

Añadamos que la prefabricación del semicoque requiere gastos, los cuales repercutirían en el precio de coste del coque, por obtener éste a partir de una primera materia semifabricada. También que, además, se aumentaría la recuperación de subproductos al tenerse que destilar mayor cantidad de carbón.

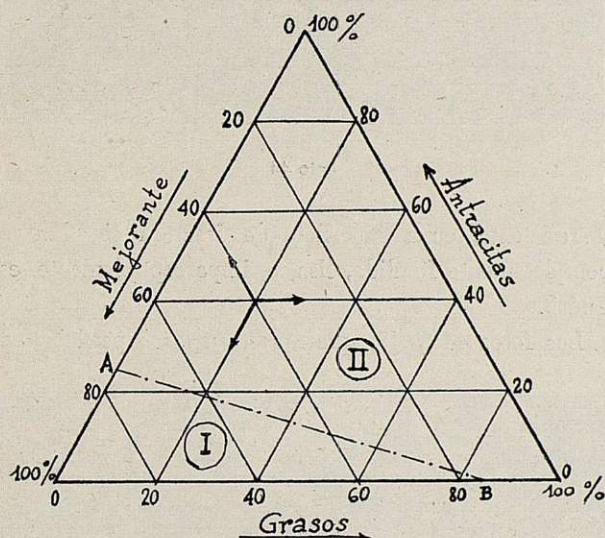
D) Con antracitas.—Se incluyen en este apartado algunos ensayos efectuados tras incorporar a la mezcla los carbones antracitosos núms. 9 ó 10. Como carbón corriente se emplea la mezcla de los carbones números 3, 4 y 6, y como mejorante los carbones núms. 7 y 8. Así, en las mezclas entraban a formar parte cinco carbones: uno, antracitoso; tres, corrientes mezclados, y uno, mejorante, que pueden considerarse, a los efectos de su representación, como mezclas ternarias de una antracita, un carbón graso coquizante corriente y un carbón bien fusible o «mejorante».

Realizados 42 ensayos variando las proporciones, en horno semiindustrial, obtuviéronse los resultados cuyo resumen de valores numéricos se hace en el cuadro siguiente:

Nº. de ensayos	Mezcla de carbones			Coque obtenido	
	Antracita	Grasos	Mejorantes	Rendimiento	Aspecto
1	40,0 %	35,0 %	25,0 %	91,5 %	Malo.
2	30,0	30,0	40,0	93,0	Regular.
11	25,0	32,5	42,5	92,1	Regular-bien.
12	20,0	40,0	40,0	89,3	Aceptable.
11	15,0	46,8	38,2	89,68	Bueno.
5	10,0	54,0	36,0	91,04	Bueno.
Total 42					

De la observación de los resultados obtenidos se dedujo que es a partir de un porcentaje inferior o hasta un 25 % de antracita cuando el coque, por su aspecto y características y rendimiento en tamaño grueso, resulta aceptable.

Las mezclas límites binarias determinadas por ensayos anteriores se cifraban en 25 % antracitas + 75 % «mejorante», y 85 % grasos + 15 % «mejorante». Con estos datos experimentales construimos el siguiente diagrama triangular que nos permitirá deducir todos los casos de mezclas posibles entre las tres clases de carbones consideradas:



El punto A representa la mezcla límite de 25 % antracita + 75 % mejorante; análogamente, el punto B, la de 85 % grasos + 15 % mejorante. Como la mezcla binaria, antracita + grasos, no da buen coque, no se tiene en cuenta, y el área triangular sólo quedará dividida en dos zonas por la línea de los límites AB. Por debajo de esta línea, en el área (I) cada punto representa una mezcla ternaria posible que dé un coque aceptable o bueno. Por encima de la línea AB, para las proporciones de los puntos del área (II), la calidad del coque que se ha de obtener tiende a empeorar.

De este modo, el problema de mezclar varios carbones, aun en número crecido, se reduce a la sencillez necesaria en la práctica, y, recíprocamente, el método gráfico sirve para comprobar los resultados.

Las características del coque obtenido sin exceso de antracita son: que es denso, compacto, duro, resistente, de fractura rugosa. La disposición general de la materia se asemeja a la de un aglomerado, y la tendencia al fisuramiento y grado de cohesión dependen de la proporción en que entren los distintos carbones en la mezcla. Los granos de antracita quedan aprisionados en la mezcla fundida de los demás carbones. La completa fusibilidad de los grasos es decisiva, pues constituyen el soporte de la masa de coque. La antracita conviene se reparta muy uniformemente y que sea de grano pequeño; la mezcla debe hacerse sin humedad, que estorbaría la buena diseminación de los granos del conjunto.

3.—APLICACIONES A LA PRÁCTICA DE LA FABRICACIÓN DEL COQUE

El aspecto del coque es, con sus características mecánicas y de reactividad, de las condiciones principales que más hay que cuidar en el coque como producto comercial que es y por el cual se intuye la utilidad que puede dar en las aplicaciones metalúrgicas.

En el aspecto influyen, decisivamente, aparte de otros factores externos, que tratamos más adelante, dos internos consubstanciales con la naturaleza del carbón tratado, que son: su aptitud para fundir y el contenido de estériles. Considerémoslos:

a) En la foto 40 se representa un coque obtenido de carbón de pocas cenizas, pero con una porción del mismo que no llega a fundir por completo y cuyos gránulos están retenidos en la malla porosa de la parte fundida. Se ve que la superficie de fractura es de aspecto granular, desmoronable por abrasión.

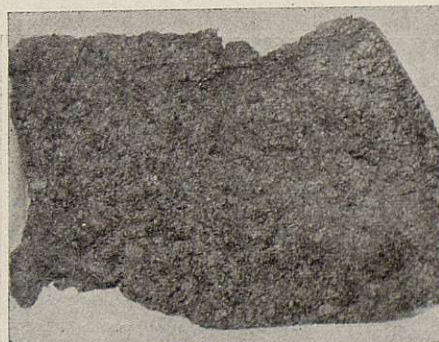


Foto 40



Foto 41

La foto 41 es de otro coque obtenido de un carbón homogéneo que funde completamente y que da buen coque, aunque contiene mayor % de cenizas, debido a los gránulos de pizarra que se ven fuertemente incrustados en la masa fundida de poro fino. La superficie está pulida y no se observa en ningún plano el



Foto 42

aspecto granular del coque anterior, ni es nada desmoronable.

b) La foto 42 corresponde al coque obtenido de un carbón que, además de tener escasa aptitud para fundir, contiene un porcentaje elevado de gránulos de estéril de variados tamaños, los cuales se observan bien en la superficie de fractura, la cual, sobre ser muy



Foto 43

agrietada, presenta el aspecto de un aglomerado, fácilmente desmoronable. Más de un 4 % de pizarra en el carbón es muy contraproducente.

Por el contrario, la foto 43 es del coque resultante del carbón núm. 6. Se ve compacto, de poro fino, duro



Foto 44

y resistente, cuya superficie de fractura se observa completamente fundida, lisa, e, imperceptiblemente, es estéril.

Las fotos 44 y 45, que muestran las superficies en



Foto 45

contacto de la pared del horno, correspondientes a dos coques de las condiciones contrarias consideradas, son altamente expresivas de lo que se obtiene de un carbón poco fusible y con exceso de estéril, la primera, y lo que resulta de un carbón que funde bien y no está sobrecargado de cenizas, la segunda.

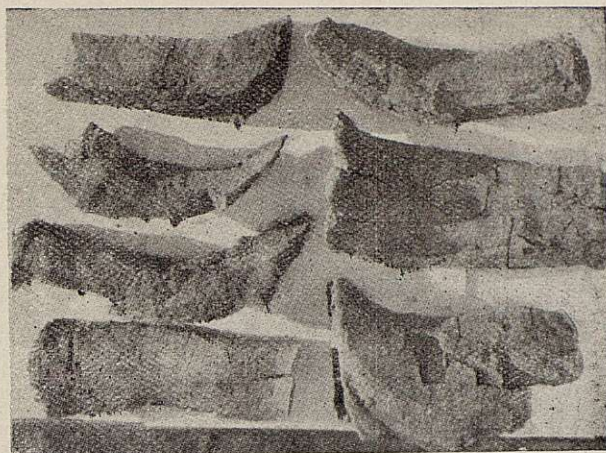


Foto 46

c) El tamaño de los trozos de coque o «agujas», en relación con el carácter del carbón y el tenor de cenizas, es otro requisito que considerar en el aspecto. Las fotos 46 y 47, corresponden también a los conjuntos de agujas obtenidas de coque en idénticas condiciones de tratamiento de los carbones de las citadas cualidades contrarias. En la primera, las agujas son mayores, unidas, apelmazadas; en la segunda, son menores, sueltas, ligeras y finas, con fisuras profundas en sentido longitudinal, que tienden a escindirlas.

3-1. EFECTO DE LA GRANULOMETRÍA DEL CARBÓN.— De la experimentación se deduce que el rendimiento en tamaño grueso del coque y su resistencia al ensayo de caída aumenta, al aumentar, hasta un cierto valor, la proporción de finos en el carbón enhornado. El interés de la fabricación está en obtener un coque me-

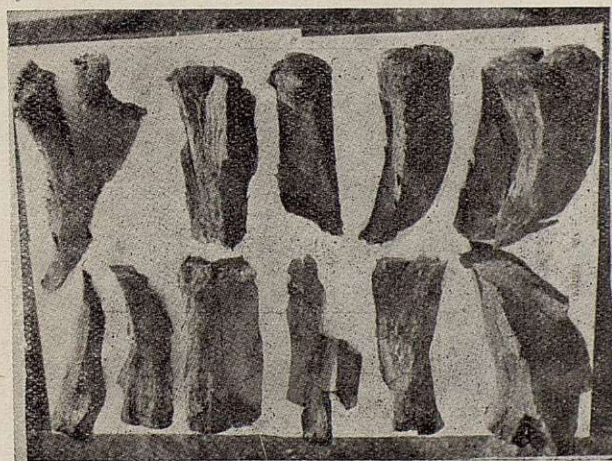


Foto 47

talúrgico duro, resistente a los choques, de buen aspecto, en tal cantidad que no se produzca polvo y el rendimiento en tamaño grueso se aproxime al 100 % cuanto sea posible.

Empecemos por considerar un coque «natural» que presenta las condiciones exigidas de resistencia y buen aspecto, al cual se produjo *in situ*, a consecuencia del incendio involuntario de la capa del carbón. Obtuvo del carbón núm. 6, francamente coquizante, y resultó bien fundido (aun con diferencias de fusión de unas vetas a otras por la variedad de composición de las mismas), poroso y duro, de tono gris metálico, claro, muy atractivo. Su contenido de cenizas = 7,75 %. Materias volátiles = 9,75 %. Se presenta en la foto 48, y su radiografía en la foto 49,



Foto 48

que muestra la uniforme repartición de la materia mineral propia. Este efecto nos parece, modestamente dicho, el que debe conseguirse en la carbonización industrial. Y, a tal fin, encaminamos gradualmente los ensayos, cuyos resultados se explican en las radiografías que exponemos a continuación.

La foto 50 representa la radiografía de una aguja de coque y la sección transversal de una probeta del mismo carbón, que, aunque contiene solamente 13 % de cenizas, la cantidad de pizarra era elevada.

El calibrado del carbón era:

Mayor de 3 mm.	4.0 %
(Anterior: mayor 3 mm.)	4.0 %
De 1 a 3 mm.	37.4 %
Menor de 1 mm.	58.6 %
	<hr/>
	100.0 %



Foto 49

El coque bien fundido, compacto, resistente, de superficie lisa y poro fino, agujas finas. No obstante, la evidencia del gran tamaño de los gránulos de estéril, muy visibles en la superficie de fractura, le dan, apa-

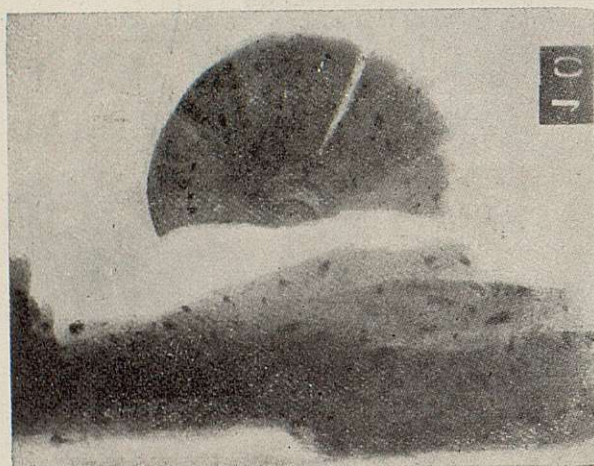


Foto 50

rentemente, aspecto de tener muchas más cenizas de las que tiene.

La foto 51 es la radiografía de otra aguja de coque, obtenido de un carbón de más cenizas y, sin embargo, tiene mejor aspecto y se ve la materia estéril



Foto 51

mejor repartida y de grano pequeño, lo que da a la aguja mayor cohesión y una homogeneidad de aspecto muy conveniente.

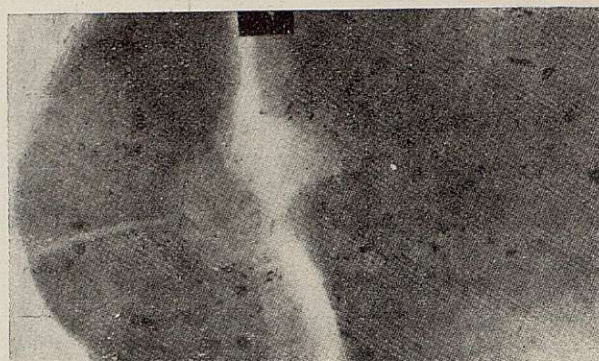


Foto 52

El calibrado del carbón era más fino, de las proporciones siguientes:

Mayor de 3 mm.	1,1 %
De 1 a 3 mm.	21,9 %
Menor de 1 mm.	77,0 %
	<hr/>
	100,0 %

Comparando los análisis de calibrado se ve que, al aumentar la molienda del carbón, se consigue eliminar prácticamente los granos mayores de 3 mm. y que, en el segundo caso, el calibre menor de 1 mm. aumentó considerablemente, y que corresponde sólo al grano grueso el 23 % del carbón enhornado.

Este resultado nos indica que estamos en el buen camino, y, al objeto de llevar más adelante esta experimentación, verificamos la serie de ensayos siguientes:

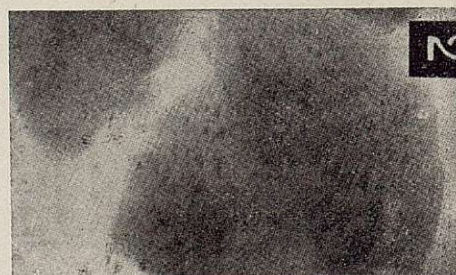


Foto 53

La foto 52 es la radiografía del coque obtenido de carbón menudo, calibre 0-8 mm., con 12 % de cenizas, enhornado, en su tamaño original. Presenta bas-

tantes gránulos gruesos de pizarra, repartida de modo muy irregular.

La foto 53 corresponde a un coque del mismo carbón, molido a calibre menor de 1 mm. Se ven, favorablemente, las partículas de estéril bien repartidas.

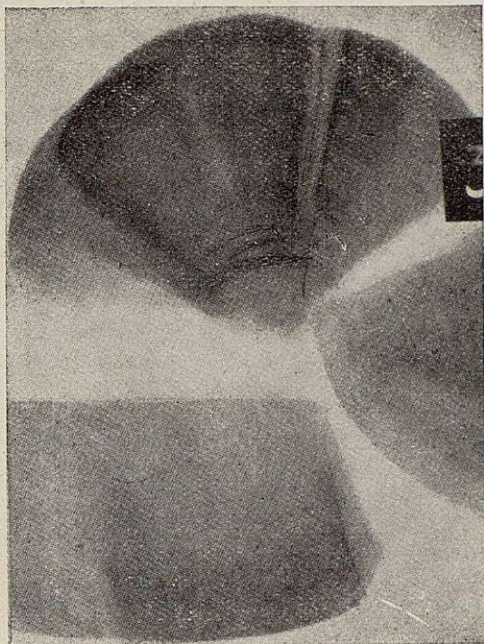


Foto 54

La foto 54 es la radiografía del coque del mismo carbón, a calibre menor de 30 mallas. El grano del estéril es pequeño y se ve menos.

La foto 55 corresponde a otro coque del mismo car-

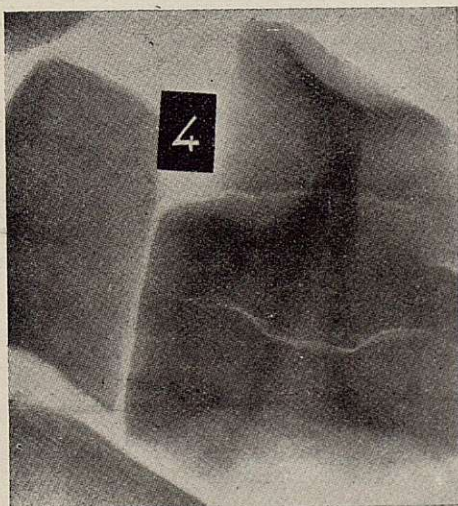


Foto 55

bón, de calibre menor a 60 mallas. En ella apenas se distinguen los granitos de estéril.

Finalmente, la foto 56 es la radiografía del coque obtenido del mismo carbón, molido muy finamente, a calibre inferior a 100 mallas, en la cual ya no se percibe diferencia alguna entre las partículas de estéril y la masa fundida del carbón.

En consecuencia, en la fabricación es conveniente un grado de molienda del carbón que favorezca la resistencia y buen aspecto del coque, para lo cual deberá conseguirse un calibrado continuo, bien regular y adecuado a la composición y dureza de los carbones, y, si se efectúan mezclas, se hará la dosificación de cada carbón integrante del modo más uniforme posible.

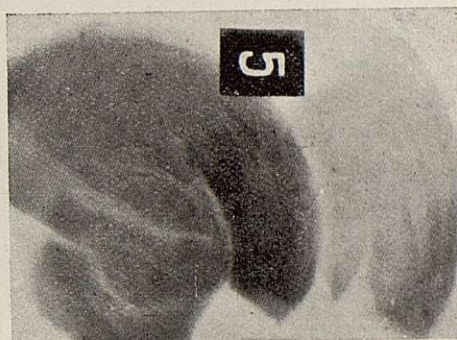


Foto 56

3-2. EFECTO DE LA HUMEDAD.—La existencia de agua en el carbón impide la buena transmisión del calor, con lo que se retrasa el efecto del calentamiento y se disminuye su velocidad. Sin embargo, hay autores que aconsejan una determinada humedad en el carbón que se ha de enhornar, por motivos diversos.

Por nuestra parte hemos realizado 18 ensayos en horno industrial, y hemos determinado la humedad del carbón en el momento del enhornamiento, y la cohesión del coque obtenido. Los resultados se citan a continuación:

Carbón con	7 %	Cohesión media	96,0
»	8	»	95,6
»	9	»	94,7
»	10	»	94,0

Se deduce que la cohesión, aunque poco, parece aumentar al disminuir la humedad.

3-3. EFECTO DE LA DENSIDAD DE CARGA.—Dando compresión al carbón que se ha de enhornar se au-

menta la densidad de carga. Se ha observado que el aproximarse las partículas de carbón y no dejar huecos facilita la propagación del calor, y la soldadura de los granos, especialmente en aquellos carbones que no tienen fusión completa y que sólo se reblandecen en su superficie. Comprimiendo el carbón se consigue este efecto, que proporciona al coque un mejor aspecto, compacidad, resistencia y cohesión.

3-4. EFECTO DEL TIPO DE HORNO.—Se ha tratado de ensayar con tres hornos horizontales de diferente anchura y con hornos verticales; éstos, incluso de pared metálica. Las conclusiones deducidas, aun con la impresión de los elementales medios de que se ha dispuesto, y dentro de las reservas a que obliga un corto número de ensayos, pueden enunciarse así:

a) En general, para un mismo horno, los rendimientos y características del coque dependen de la naturaleza del carbón, fundamentalmente.

b) Para un mismo carbón el tamaño del coque que resulta es tanto menor cuanto mayor la velocidad de calentamiento.

c) Para un mismo carbón la proporción del polvo de coque producido disminuye al disminuir la anchura del horno.

d) El tamaño del coque que se obtiene depende,



Foto 57

más de la velocidad de calentamiento que de la anchura del horno.

e) Para un mismo horno el tamaño del coque de un carbón que funde bien depende también del contenido de cenizas; es mayor el obtenido de carbones poco limpios.

La foto 57 muestra el coque obtenido de un car-

bón con bastantes cenizas, que es denso, duro, tenaz y en grandes bloques, y la foto 58 el coque de carbón más limpio, de la misma clase y producido en idénticas condiciones, que presenta bloques menores, más ligeros, fisurados en sentido longitudinal con tendencia a dividirse en agujas finas.

f) En cada horno, la resistencia mecánica del co-

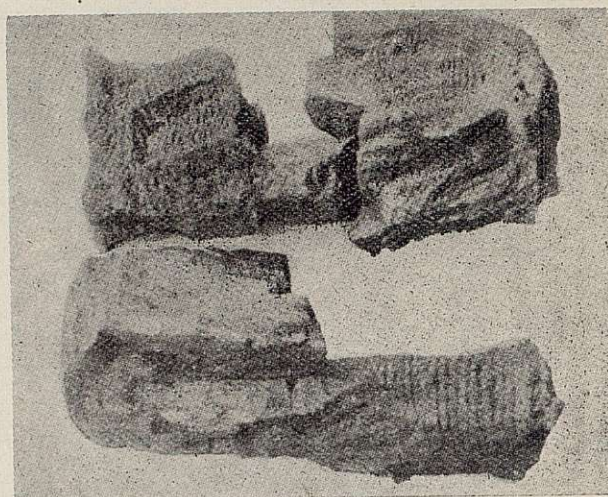


Foto 58

que obtenido de un mismo carbón, varía con la velocidad de calentamiento.

g) Idem íd. la reactividad del coque obtenido de un mismo carbón tiende a disminuir al aumentar la temperatura de calentamiento. Los coques más reactivos parecen ser los que resultan de carbones de mayor contenido de materias volátiles. Sin embargo, la reactividad de un coque depende principalmente de las características del carbón tratado.

h) Los cambios cristalográficos que se verifican en el coque durante la carbonización en horno industrial, son similares a los que ocurren en los ensayos de coquización a escala de laboratorio.

i) El tamaño de los poros del coque obtenidos de un mismo carbón en horno estrecho a pequeña velocidad de calentamiento, es mayor que el de los poros del coque obtenido en horno ancho con mayor velocidad de calentamiento.

j) En horno de pared metálica se consigue mejor transmisión del calor y se aumenta la velocidad de calentamiento, con lo cual la coquización se hace más rápida que en horno de material refractario silico-aluminoso. Este hecho es favorable a la coquización,

como lo muestran los resultados de los ensayos del mismo carbón siguientes:

Ensayos núms. 239 y 241	Horno horizontal de material refractario	Horno vertical de paredes metálicas
Temperatura del horno.	1.060°	1.010°
Tiempo de tratamiento.	16 horas	16 horas
Coque obtenido	Todo pulverulento	Aglomerado, duro, de aspecto feo y mal coque.
Rendimiento tamaño grueso	0,00	65,00 %
Materias volátiles	1,75 %	2,75 %

En el primer ensayo, a pesar de ser más elevada la temperatura, el resultado de coquización fué nulo, mientras que en el segundo ensayo se consiguió aglomerar el carbón con un rendimiento de 65 %. También merece observarse que el resto de materias volátiles en el coque obtenido en el horno vertical, para igual tiempo de tratamiento, es mayor que el del coque que resultó del horno horizontal.

4.—APLICACIONES A LA FABRICACIÓN DE AGLOMERANTES

Someramente, para no hacer demasiado larga esta comunicación, sólo nos referiremos a unos pocos factores que intervienen fundamentalmente en la fabricación de briquetas de carbón graso, de las siguientes características:

Análisis: S/S.

Cenizas	12,00 %
Materias volátiles	21,91 %
Carbón fijo	66,09 %
	100,00 %

Granulometría:

a) De los menudos 0-8 mm.:

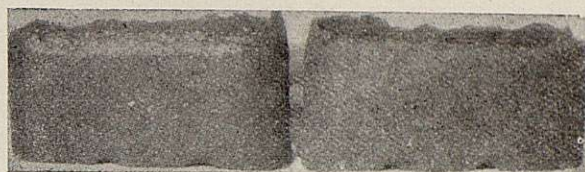
Mayor de 0 mm.	100,0 %
» » 1 »	87,7 »
» » 3 »	42,1 »
» » 5 »	11,8 »
» » 8 »	0,0 »

A este calibrado le corresponde un índice de finura de 73,81 %.

b) De los finos de flotación 0-0,5 mm.:

Menor de 0,5 mm.	100 %
-------------------------	-------

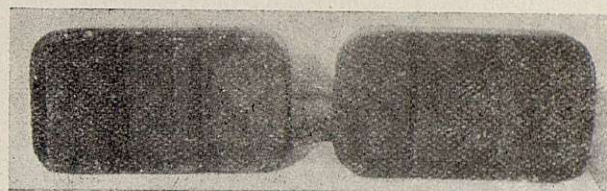
Como aglomerante se emplea exclusivamente brea de alquitrán de hulla, y el modo de adicionarla al carbón seco puede ser: previamente molida en grano fino, o proyectándola fundida.



(1) Foto 59 (2)

La influencia de adecuada proporción de calibres es decisiva para obtener una buena briqueta, compacta y resistente, con consumo mínimo de brea.

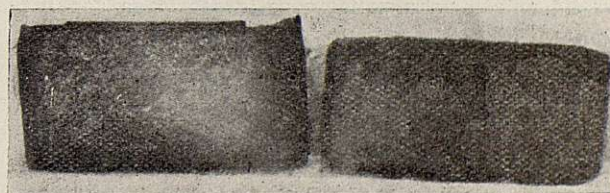
En la foto 59 y 60 se presentan dos briquetas fabricadas; una de ellas (1 y 3), con mezcla de finos y menudos; éstos, en defecto para constituir una masa



(3) Foto 60 (4)

de porosidad perfectamente uniforme, y la otra (2 y 4), fabricada sólo con finos. Se aprecia su mejor aspecto y textura en esta última.

En cuanto al modo de emplear el aglomerante se presenta en la foto 61 dos briquetas típicas, de la misma composición e idéntica marcha de la fábrica.



(1) Foto 61 (2)

La núm. 1 se produjo adicionando al carbón la brea fundida en forma vesicular, y la núm. 2, adicionándola molida en forma pulverulenta. Se aprecia bien que la briqueta primera adquirió estado de pastosidad

elevado, formándose una pasta de gran ligazón, de la substancia carbonosa, la formación desiliciuro de buen aspecto, superficies lisas, fractura homogénea, lustrosa, dura y muy coherente, mientras que la segunda

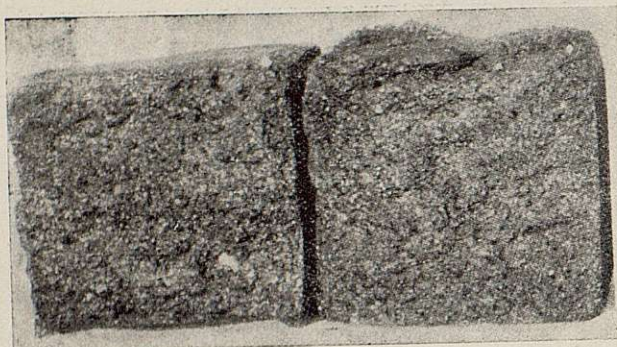


Foto 62

no reúne en grado tan estimado dichas convenientes cualidades.

Las fotos 62 y 63 muestran, muy elocuentemente, las secciones transversales de fractura por el plano

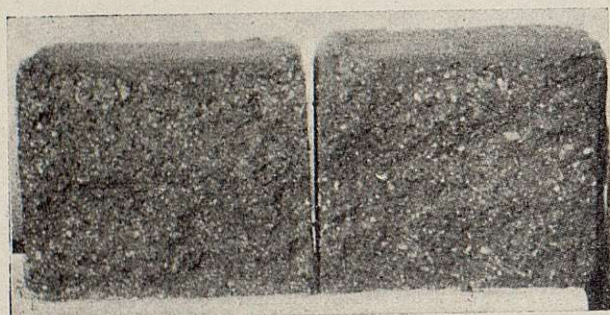


Foto 63

medio de cada una de las dos briquetas de la fotografía anterior. La primera es la fabricada con brea líquida, que se ve abultada, casi plana, y muy aglomerados los granos del carbón. La segunda es la fabricada con brea molida, que ni presenta tan lisa la superficie de fractura, ni se ve tan llena ni coherente.

5.—CENIZAS

De los carbones, luego de su calcinación perfecta, consumida por combustión completamente la substancia combustible, queda un residuo mineral característico que se denomina, genéricamente, «la ceniza».

El contenido de cenizas de un carbón expresa la parte no combustible del mismo, y nos da clara idea de cuál puede ser su valor real. Muchas cenizas rebajan la potencia calorífica y presentan el inconveniente de que hacen arder mal al carbón y retienen entre ellas gran proporción del mismo, sin quemar.

Se ha podido observar en los carbones considerados la diversidad de naturaleza, de consistencia y de aspecto que presentan estos residuos minerales, cuyo estudio es, a la par que sugestivo, muy interesante.

La naturaleza química de los mismos está, fundamentalmente, relacionada con sus propiedades, de las que dependen su comportamiento posterior, tanto en la fabricación de coque como de aglomerado, y en el resultado de su utilización.

En las cenizas de las hullas se encuentran sales de los ácidos silícico, carbónico, fosfórico, sulfúrico, ácido titánico y otras combinaciones de azufre, de calcio y de hierro. Entre las materias derivadas del ácido silícico están las arcillas, que contienen óxidos de hierro, de cal, de magnesia, de sodio y de potasio. También existe sílice libre. Del ácido carbónico se derivan la cal y algo de magnesio. Del sulfúrico, yeso, barita y óxido de hierro. El fosfórico forma compuestos con el calcio y el magnesio, en pequeña cantidad.

Para la generalidad de las hullas se ha determinado que en sus cenizas, los distintos óxidos deducidos del análisis, pueden variar entre límites muy amplios. Por ejemplo:

SiO ₂	De 1,70 a 60,23 %
Al ₂ O ₃	» 2,21 a 39,64
FeO	» 5,59 a 74,80
CaO	» 1,80 a 21,57
MgO	» 0,00 a 9,82
K ₂ O	» 0,07 a 0,60
Na ₂ O	» 0,08 a 6,29

La abundancia de SiO₂, FeO y CaO en las cenizas origina escorias de bajo punto de fusión. La pirita de hierro (FeS) se transforma durante la oxidación, que es el proceso de la combustión en Fe₂O₃, que puede combinarse con el material refractario de que están contruídos los hogares y los hornos, dando compuestos de mayor fusibilidad, y en SO₂ y SO₃, que en atmósfera húmeda producen acción corrosiva de gran intensidad. La cal (CaO) y la magnesia (MgO) y los óxidos alcalinos también ejercen acción destructiva de los materiales, tanto metálicos como refractarios, a las elevadas temperaturas de trabajo.

Aspectos notables que se deben tener en cuenta en las cenizas son, también, los referentes a la acción catalítica que ejercen en la descomposición térmica de la substancia carbonosa, la formación del siliciuro de carbono, que comunica extraordinaria dureza al coque, y el aumento de reactividad que el hierro da al coque empleado en los procesos pirometalúrgico para reducir los óxidos metálicos.

La constitución química de las cenizas se refleja en su coloración. Las muy blancas y esponjosas corresponden a carbones bien lavados y son ricas en sílice (SiO_2). Las grises, a carbones poco lavados, y contienen pizarras y arcillas (Al_2O_3). Las rojizas y apelmazadas deben su aspecto a que contienen óxido de hierro procedente de la descomposición de piritas o de carbonatos del mismo elemento. Por lo mismo, el color de las cenizas hace referencia a su fusibilidad. La abundancia de óxido de hierro, cal y magnesia, rebaja el punto de fusión de las mismas. Unas cenizas de color rojizo obscuro o pardo, denotan un exceso de óxido de hierro y darán escorias que funden a la temperatura inferior. Aunque blancas, si tienen mucha cal, también puede ser fácilmente fusibles. Lo más conveniente es que su composición se aproxime a la que tiene el silicato de aluminio: $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, que corresponde a 5,42 % de sílice (SiO_2) y 45,8 % de alúmina (Al_2O_3), por ser este compuesto de características prácticamente infusibles. El índice de fusibilidad de una ceniza se determina por el valor del

cociente de la expresión
$$\frac{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$
, que

aumenta a medida que es mayor el porcentaje de sílice y de alúmina y menor el de los cuerpos del denominador, sexquíóxido de hierro (Fe_2O_3), cal (CaO) y magnesia (MgO). El contenido de sílice en las hullas es elevado, del orden de 25 a 60 %, y el de alúmina de 20 a 40 %.

Pero, si por aportaciones externas, se modifica el contenido de alúmina, reemplazándola por otras bases, como la cal y la magnesia, o el óxido de hierro, se forman silicatos dobles, de punto de fusión más bajo, lo que es el motivo de que las cenizas con exceso de estos tres últimos componentes sean más fusibles. Se-

gún la temperatura a que se ablandan, se las denomina:

Refractaria, si lo hace sobre 1.430° .

Semirrefractaria, ídem íd. entre 1.200° y 1.430° .

Fusible, ídem íd. por bajo de 1.200° .

En el caso de los carbones estudiados, se ha observado en las cenizas de los «todo-unos», las coloraciones, en general, siguientes:

Carbón núm. 0.—Gris o rojiza semiesponjosa.

1.—Gris semiesponjosa.

2.—Blanca-gris esponjosa.

3.—Gris semiesponjosa.

4.—Rosada esponjosa.

5.—Blanca rosada esponjosa.

6.—Gris semiesponjosa.

7.—Blanca-rosada esponjosa.

8.—Ídem íd.

9.—Rojiza granulada.

10.—Blanca-rosada granulada.

Del conjunto de estas once variedades de carbones escogidas entre muy distintos calibrados y clases, desde estériles hasta finos de flotación y coque, se presentan cuarenta muestras en la foto 64, que pone de

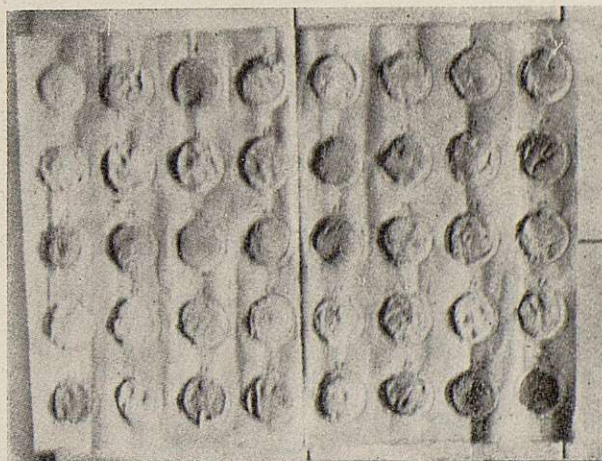


Foto 64

manifiesto una gama muy extensa de aspectos y tonalidades de color, y que evidencia cuánta es la variedad en este particular, última fisonomía de los carbones.

Mayo 1950.

La lectura del anterior trabajo fué seguida con gran interés por los asistentes, por su gran documentación y experiencia que supone, y no se presentó a él ninguna enmienda.

Terminada la lectura, se levanta la sesión a las siete y media de la tarde, después de unas palabras del Sr. Presidente, que resume todo el interés de los estudios, comunicaciones y memorias que han sido objeto de examen por la Sección.

Madrid, 2 junio 1950

CONCLUSIONES DEL GRUPO PRIMERO

« COMBUSTIBLES »

Las conclusiones deducidas de los trabajos que se publican en este Tomo II, estudiadas en las respectivas Secciones del Grupo I.- COMBUSTIBLES, fueron coordinadas y dispuestas para su presentación al Pleno del Congreso, en reunión conjunta celebrada al efecto, por las Mesas de dichas Secciones y el Ponente General D. José María Oriol y Urquijo.

Estas conclusiones provisionales, impresas en las páginas 176 y 179 del Tomo I, se sometieron a examen y debate en el Pleno y quedaron aprobadas, en el celebrado el día 2 de junio de 1950, con la redacción que se las da en las páginas 229 a 232 de dicho Tomo I.

FIN DEL TOMO II

ÍNDICE

G. 1001

ÍNDICE DEL TOMO SEGUNDO

GRUPO I.—COMBUSTIBLES

	Páginas
SECCIÓN I.—Acta de la sesión celebrada el día 29 de mayo de 1950, por la Sección I...	9
N.º 39.— <i>La Gèneses des dégagements instantanés dans les houllères</i>	9
N.º 76.— <i>La cuenca hullera de Moatice (Mozambique)</i>	35
N.º 92.— <i>Ahorremos combustible</i>	47
N.º 117.— <i>Aprovechamiento racional de los combustibles sólidos españoles</i>	55
N.º 156.— <i>Mecanización en las minas de Asturias</i>	81
N.º 157.— <i>Centrales de compresores en las minas de Asturias</i>	91
N.º 158.— <i>Método de explotación por tajos diagonales</i>	119
N.º 145.— <i>Ante el déficit de nuestro balance energético</i>	131
Acta de la Sesión celebrada el día 30 de mayo de 1950, por la Sección I	147
N.º 161.— <i>El problema de la ventilación en las minas de carbón con grisú, con galerías corrientes de retorno de aire de más de 3.900 m. y volúmenes de 90 m³/s.</i>	147
PONENCIA.— <i>Aprovechamiento racional de los combustibles</i>	155
SECCIÓN II.—Acta de la sesión celebrada el día 29 de mayo de 1950, por la Sección II...	167
N.º 144.— <i>Necesidad de promulgar una ley de hidrocarburos de España</i>	167
N.º 153.— <i>Memoria descriptiva de los planes, proyectos, actividades y estado en que se encuentran las obras de construcción de la Refinería del Valle de Escombreras (Cartagena)</i>	175
N.º 241.— <i>El problema del petróleo en España</i>	191
N.º 171.— <i>Economía y política del refino y utilización de gasolina</i>	197
N.º 221.— <i>Propuesta de un plan de investigaciones petrolíferas en España</i>	221
N.º 223. <i>Organización petrolífera nacional</i>	233
N.º 247.— <i>Posibilidades petrolíferas del anticlinal cretáceo de la Rúa-Cabarra (Lérida)</i>	239
SECCIÓN III.—Acta de la sesión celebrada el día 30 de mayo de 1950, por la Sección III.	253
N.º 24.— <i>La carbonización como aprovechamiento racional del carbón y su influencia en la economía nacional</i>	253
N.º 41.— <i>Reducción del actual consumo de carbón en España</i>	265
N.º 56.— <i>La incineración de basuras en las grandes ciudades, fuente de producción de energía térmica</i>	273
N.º 57.— <i>Las altas presiones y temperaturas en las aplicaciones termodinámicas</i> ...	291
N.º 64.— <i>Aprovechamiento de la energía interna de la tierra</i>	353
N.º 164.— <i>Recuperación del benzol de gas de baterías de hornos de coque</i>	369
N.º 165.— <i>Mejora de la calidad del coque metalúrgico por adición de menudo antracitoso</i>	387
N.º 159.— <i>Contribución al estudio de lavado de carbones por «rheo-lavadores»</i> ...	403
N.º 295.— <i>Estudio racional de carbones</i>	417

ERRATAS ADVERTIDAS

Dice:	Debe decir:	Página	Columna	Línea
aplicaciones el lavado resulta superfluo. Frágil como	plotación fuerte proporción de menudos que conve-	46	2. ^a	17
a un	al	47	2. ^a	7
nula	nula vigilancia	50	1. ^a	16
ón	ción		2. ^a	14
sólidos	líquidos	57	1. ^a	21
anexas los	anexas, son los	68	2. ^a	2
en	con	68	2. ^a	37
$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \frac{1}{n}$	$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{n}}$	104	2. ^a	27
tubos	turbos	110	2. ^a	6
Luis	Lucio	145	1. ^a	13
clase	clase de	173	2. ^a	9
rebajó	se rebajó	279	1. ^a	26
720.0000	720.000	293	1. ^a	8
CIRUITOS	CIRCUITOS	314	2. ^a	23
Geométrico	Geotérmico	355	1. ^a	6
geométrico	geotérmico.	356	1. ^a	5
extras el productos.	extrae el producto.	412	2. ^a	47

